

2回にわたりハーフミラーを通過して光量が1/4に低下し、表示画像が暗くなってしまう。これを防ぐためにはより電力を消費する明るい照明などを用いて画像表示素子を照明する必要があるが生じてしまう。また、消費電力の制約や光源素子の能力などの関係により光源を明るくすることができない場合には、明るい太陽下での表示画像観察ができなくなってしまう。

また、米国特許第5093567号公報のFig. 9、特開2000-241751号公報の図3、特開2000-180787号公報の図3に記載の観察光学系は、2つのプリズムの間に微小な空気間隔を空けているため、この空気間隔を空けた状態で2つのプリズムをセッティングするときに、互いのプリズムの光軸調整を行う必要が生じ、組み立てコストが高くなってしまう。また、これらの観察光学系を含んだ装置に衝撃や振動が加わった際に光軸ズレが発生しやすい。

また、米国特許第4874214号公報で提案されている観察光学系は、球面3に曲面形状を有するホログラム素子を備えている。

ところで、曲面形状を有するホログラム素子には、形状による光学的パワーと、ホログラム素子の回折効果によるパワーとの２種類のパワーが存在する。例えば、球面形状の基盤部材にホログラム素子を設けた場合の２種類のパワーを図を用いて説明すると、ホログラム素子は、図１７Ａに示すように、ホログラム素子内部の格子構造のピッチなど、干渉縞の密度の違いによるパワーを有し、また、図１７Ｂに示すように、その曲面形状による光学的パワーを有する。そして、ホログラム素子における形状による光学的パワーは、基盤部材の厚みによっても影響を受け、基盤部材の厚みが大きければ、形状によるパワーも大きくなる。

しかし、上記米国特許第 4 8 7 4 2 1 4 号公報に記載の観察光学系は、平面（2）と球面（3）との間が硝子やプラスチック媒質で満たされていないため、曲面形状を有するホログラム素子における形状による光学的パワーが小さくなる。そのため、球面収差およびコマ収差の補正が困難となってしまう。さらに、この観察光学系は、ディストーション補正に有効に作用する画像表示素子近辺、即ち、像面と平面（2）との間の光路、に光学面が存在しないため、ディストーションを良好に補正することが困難となってしまう。

OBJECTS AND SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は、このような従来技術の問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、明るい表示画像の観察が可能であり、組み立てが容易で、振動などの衝撃に強く、軽く、コンパクトで、更に良好に収差補正された表示画像の観察が可能な観察光学系及びそれを用いた装置を提供することである。また、そのような光学系の光路を逆転させて物体像を形成する結像光学系を備えた撮像光学系及びそれを用いた装置にも応用可能である。

本発明による観察光学系は、観察者が観察する観察像を形成する観察像形成部材と、前記観察像形成部材によって形成された観察像を観察者眼球位置に形成される射出瞳に導く接眼光学部材とを有する観察光学系において、前記接眼光学部材が少なくとも、第1プリズム部材と第2プリズム部材とを含み、前記第1プリズムが少なくとも、第1プリズム媒質を間に挟んで、前記観察像からの光線を前記第1プリズム内に入射させる第1入射面と、前記第1プリズム内で光線を反射させる反射面と、前記第1プリズム外に光線を射出させる第1射出面とを有し、前記第2プリズムが少なくとも、第2プリズム媒質を間に挟んで、前記第1プリズムから射出した光線を前記第2プリズム内に入射させる第2入射面と、前記第2プリズム外に光線を射出させる第2射出面とを有している。

このように、接眼光学部材の内部をガラスやプラスチック材料などで満たすことで、各光学作用面の面形状による光学的パワーを大きくし、球面収差やコマ収差などの収差を良好に補正している。

また、本発明の観察光学系は、上記構成に加えて、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが、前記第1射出面と前記第2入射面との間にホログラム素子を挟んで接合配置されるように構成する。

光路を分岐するための斜鏡にホログラム素子を用いれば、反射回折時に100%近い回折効率を得ることができ、光量損失のない明るい画像表示が可能になる。また、画像表示素子のプリズムと眼側のプリズムとの2つのプリズムをホログラム素子を挟んで接合させて1つの部材として構成すれば、空気間隔の存在による組み立て時の光軸ズレやセッティングの煩雑性を解消でき、組み立てが容易で、振動などの衝撃に強い観察光学系を達成することができる。

また、ホログラム素子を第1プリズムと第2プリズムで挟んで接合すれば、ホログラム素子を防塵できるので、別個に防塵部材を設けなくてもゴミ等が拡大観察されてしまうのを防ぐことができ、また、外部からのホログラム素子への水分の侵入によりホログラム素子が膨張して回折効率のピーク波長が変化してしまうのを防ぐことができる。

更に、本発明の観察光学系は、上記構成に加えて、前記第1プリズムの前記反射面を、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面に形成し、前記第1プリズムの前記第1入射面を、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成し、前記第2プリズムの前記第2射出面を、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成する。

また、本発明の観察光学系は、前記第１プリズム媒質と前記第２プリズム媒質とを、同種の媒質で構成するのが好ましい。

また、本発明の観察光学系は、前記第１プリズムの第１射出面の面形状と前記第２プリズムの第２入射面の面形状とを、略同一形状にて構成するのが好ましい。

なお、ここで、略同一形状とは、製造誤差の範囲での面形状の相違は許容する趣旨である。

また、本発明の観察光学系は、前記第 1 プリズムの第 1 射出面の面形状と前記第 2 プリズムの第 2 入射面の面形状とを、ともに曲面形状にて構成するのが好ましい。

これにより、第 1 射出面と第 2 入射面との曲面形状によって決定されるホログラム素子の曲面形状によるパワーを用いてディストーションを補正し、且つ、ホログラム素子の反射回折によるパワーを用いて回転対称および回転非対称成分の倍率色収差補正を行うことができる。

また、本発明の観察光学系は、前記第 1 プリズムの第 1 射出面の面形状と前記第 2 プリズムの第 2 入射面の面形状とを、ともに回転対称な球面形状にて構成するのが好ましい。

ホログラム素子面の形状を球面形状により構成すれば、ホログラム素子の媒質として液体状のフォトポリマー等を用い、プリズム面への吹き付けによりフォトポリマーを塗布して、生産する場合には、前記吹き付けのフォトポリマー噴射位

置を前記球面の曲率中心に一致させることで、均一な厚さに塗布しやすい。

なぜならば、回転非対称面や回転対称な非球面の場合には、フォトポリマーの噴射位置から前記プリズム面までの距離が場所によって異なるため、噴射されたフォトポリマーの密度が均一に塗布できないが、球面の場合には上記のようにフォトポリマーの噴射位置を調整することでフォトポリマーの噴射位置から前記プリズム面までの距離を等しくすることができるからである。

なお、前記ホログラム素子が射出瞳側に凹面を向ける場合には、前記第 1 プリズムの第 1 射出面にフォトポリマーを塗布することが望ましく、前記ホログラム素子が射出瞳側に凸面を向けている場合には、前記第 2 プリズムの第 2 入射面にフォトポリマーを塗布することが望ましい。

また、本発明の観察光学系は、前記第 1 プリズムと前記第 2 プリズムとに備わる、光線を透過及び／又は反射させる光学作用面以外の非光学作用面に、ゴースト光が観察者の眼球へ入射するのを防止するためのゴースト光除去部材を設けるのが好ましい。

ゴースト光除去部材は、前記第 1 プリズムの前記第 1 入射面を上面と定義したときの接眼光学部材の底面及び側面に設けることが効果的である。更に前記第 1 入射面内の光線有効径外や、前記第 1 プリズムの反射面内の光線有効径外や、前記第 2 プリズムの第 2 射出面内の光線有効径外の領域も非光学作用面に含まれ、この部分にゴースト光除去部材を設けることも有効である。

また、本発明の観察光学系は、前記第 1 プリズムの第 1 入射面の面形状が回転非対称な曲面形状にて構成されているのが好ましい。

このように、画像表示素子などの画像形成部材の前面に透過面（前記第 1 プリズムの第 1 入射面）を配置すれば、ディストーションを良好に補正することができる。なお、この画像形成部材の前面の形状は回転対称面で構成することも可能であるが、観察光学系の小型化を目的として光学作用面を偏心配置した際の偏心収差を補正するためには、自由曲面を用いることが更に望ましい。

また、本発明の観察光学系は、前記第 1 プリズムの第 1 入射面の前記回転非対称な曲面形状が、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、前記唯一の対称面が、光軸の折り返し面（Y-Z 平面）に一致しているのが好ましい。

また、本発明の観察光学系は、前記ホログラム素子が光線を反射回折により回
転対称成分と回転非対称成分の両方の倍率色収差を補正するように構成されてい
るのが好ましい。

反射型ホログラム素子で回転対称成分および回転非対称成分の倍率色収差補正を行うことで高いコントラストが実現できる。

また、本発明の観察光学系は、瞳面の中心と像面の中心とを結ぶ光線を軸上主光線とし、軸上主光線と前記ホログラム素子面とが交わる位置における接線と視軸とのなす角度を θ （図18参照）としたとき、次の条件式(1)を満足することが重要である。

$$50^{\circ} < \theta < 80^{\circ} \quad \dots\dots(1)$$

ホログラム素子面の傾斜角度が視軸に対して45度からズレた角度とすることで、観察光学系の全厚を薄型化し、コンパクト化と軽量化を実現できる。

なお、ホログラム素子面の傾斜角度を視軸に対して45度からズラしたことに
より偏心収差が発生するが本発明ではこの偏心収差を補正するために、観察像形
成部材からの光をプリズムへ入射する面（第1プリズムの第1入射面）、ホログラ
ム素子からの回折光を反射する面（第1プリズムの反射面）、眼の前の面（第2プ
リズムの第2射出面）にそれぞれ自由曲面を配置し、更にホログラム素子面の基
盤形状を球面形状としてコマ収差および像面湾曲を良好に補正している。

視軸に対するホログラム素子面の傾斜角度を θ と定義する。本発明のように、ホログラム素子面の面形状が曲面の場合には、図18に示すように、軸上主光線とホログラム素子面とが交わる位置における接線と視軸とのなす角度を θ とする。この場合、上記条件式(1)を満足することが重要である。

条件式(1) の下限を超えて角度 θ が小さくなると、2つのプリズム内で光路を分岐するための斜鏡の傾きが小さくなりすぎて接眼光学部材が厚くなり大型で重量の重い観察光学系となってしまう。一方、条件式(1) の上限を超えて角度 θ が大きくなると接眼光学部材の偏心量が大きくなりすぎ、偏心収差の補正が困難となり、コントラストが高く、ディストーションが良好に補正された像の観察が困難となる。

更に望ましくは、次の条件式(2)を満足することが重要である。

$$60^{\circ} < \theta < 70^{\circ}$$

……(2)

条件式(2)の下限および上限の意味は上述の条件式(1)と同様である。

また、本発明の観察光学系は、前記第2プリズムの前記第2射出面の面形状が、前記接眼光学部材で発生する回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成されているのが好ましい。

また、本発明の観察光学系は、前記第2プリズムの前記第2射出面の前記回転非対称な曲面形状は、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、前記唯一の対称面は、光軸の折り返し面（Y-Z平面）に一致しているのが好ましい。

また、本発明において、前記第1プリズムを構成する面及び第2プリズムを構成する面は、回転非対称なディストーション補正やテレセントリック性の良好な光学系とするために自由曲面などの回転非対称な面が望ましいが、球面、非球面、アナモルフィック面などの回転対称な面で構成することも可能である。

本発明の観察光学系では、観察像形成部材で形成された観察像からの光束を第1入射面を透過させることで第1プリズム内に入射させ、入射した光束を体積型ホログラムに対し角度選択性の範囲内にある第1の入射角度で入射させて反射回折させた後に、反射面で反射させている。反射された光束は体積型ホログラム面に第2の入射角度でもって再入射するが、体積型ホログラムの角度選択性の範囲から外れるため、回折効率が極めて低くなり、実質的にはそのまま第1射出面を素通りして、第2入射面を透過して第2プリズム内へと射出される。

第2プリズム内へ入射した光束は、第2射出面をそのまま透過し、第2プリズムから射出されて、観察者の眼球へと導かれることとなる。

よって、本発明によれば、光路分岐のためにハーフミラーを設けたり、空気間隔を設ける必要がないので、光量ロスが少なく明るい表示画像の観察が可能であり、しかも、組み立てが容易で、振動などの衝撃に強く、軽く、コンパクトで、更に、良好に補正された表示画像の観察が可能な観察光学系及びそれを用いた装置が得られる。

なお、本発明の観察光学系は、前記第1プリズムの前記第1入射面と前記観察像形成部材との間に、例えば、プリズム、平行平板状のガラス、あるいは正又は

負レンズなどの光学部材を配置してもよい。

また、本発明の観察光学系は、前記第2プリズムの前記第2射出面と前記射出瞳との間に、例えば、プリズム、平行平板状のガラス、あるいは正又は負レンズなどの光学部材を配置してもよい。

なお、本発明の光学系のこれらの構成は、観察系だけでなく撮像系への適用も可能である。

本発明の撮像光学系は、像面に配置された、物体像を撮像する撮像素子と、瞳面に配置された、物体からの光束の明るさを絞る明るさ絞りと、前記像面と前記瞳面との間に配置された、前記物体像を前記像面に導く結像光学部材とを有する撮像光学系において、前記結像光学部材が少なくとも、第2プリズム部材と第1プリズム部材とを含み、前記第2プリズムが少なくとも、第2プリズム媒質を間に挟んで、前記明るさ絞りを通過した物体からの光線を前記第2プリズム内に入射させる第3入射面と、前記第2プリズム外に光線を射出させる第3射出面とを有し、前記第1プリズムが少なくとも、第1プリズム媒質を間に挟んで、前記第2プリズムから射出した光線を前記第1プリズム内に入射させる第4入射面と、前記第1プリズム内で光線を反射させる反射面と、前記第1プリズム外に光線を射出させる第4射出面とを有している。また、前記第2プリズムと前記第1プリズムとを、前記第3射出面と前記第4入射面との間にホログラム素子を挟んで接合配置されるように構成する。さらに、前記第1プリズムの有する前記反射面を、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面に形成し、前記第1プリズムの前記第4射出面を、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成し、前記第2プリズムの前記第3入射面を、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成する。

即ち、本発明の観察光学系における、観察像形成部材、射出瞳、及び接眼光学部材を、本発明の撮像光学系では、撮像素子、明るさ絞り、及び結像光学系にそれぞれ置き換えて構成する。

そして、撮像光学系においても、上述の条件式など観察光学系に準じた構成とすると好ましい。

その他、本発明の観察光学系は、前記第1プリズムの前記反射面をミラーコー

ティングして構成すればよい。

また、前記第 1 プリズムの前記反射面を、光束が該反射面に対して全反射臨界角を超えた入射角度で入射したときには反射し、全反射臨界角を超えない入射角度で入射したときには透過させるような全反射面となるように構成してもよい。

また、さらに前記第 1 プリズムの前記反射面側に光を透過する光学部材を設けてもよい。

このように構成すれば、シースルー観察が可能となり、通常の外部観察に支障を来たすことなく、本発明の観察光学系を用いた頭部又は顔面装着式画像表示装置を装着し続けることができ、頭部又は顔面装着式画像表示装置の着脱の手間を省くことができる。

また、外部の観察像と画像表示素子からの像とを重ねあわせた多重像を観察することもできる。

なお、シースルー観察を可能とするために、前記第 1 プリズムの前記反射面をハーフミラーで構成してもよい。

また、画像表示素子と、以上のような本発明の何れかの観察光学系を接眼光学系として配置した本体部と、前記観察光学系の射出瞳を観察者の眼球位置に保持するように前記本体部を観察者頭部に支持する支持部材と、前記観察者の耳に音声を与えるスピーカー部材とを有して頭部装着型画像表示装置を構成することができる。

その場合の頭部装着型画像表示装置は、前記本体部が、右眼用の観察光学系と左眼用の観察光学系とを備え、前記スピーカ部材が、右耳用スピーカ部材と左耳用スピーカ部材とを有するように構成してもよい。

また、この頭部装着型画像表示装置は、前記スピーカー部材がイヤホンで構成されていてもよい。

なお、本発明の光学系において、観察光学系では逆光線追跡、撮像光学系では順光線追跡で、物点中心を通り、観察光学系では瞳、撮像光学系では明るさ絞りの中心を通過して像面の中心に到達する光線を軸上主光線としたとき、少なくとも１つの反射面が軸上主光線に対して偏心していないと、軸上主光線の入射光線と反射光線が同一の光路を通ることとなり、軸上主光線が光学系中で遮断されて

また、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対して偏心させた場合、本発明で用いられるプリズム部材を構成する面のうち、少なくとも１つの面は回転非対称な面であることが望ましい。その中でも、特に、プリズム部材の少なくとも１つの反射面を回転非対称な面にすることが収差補正上は好ましい。

光路を折り曲げて、共通領域の光路を重複して利用するためには、光学系を偏心配置する必要がある。しかし、このように光路を折り曲げるために光学系を偏心光学系とすると、回転非対称なディストーションや回転非対称な像面湾曲などの偏心収差が発生する。この偏心収差を補正するために回転非対称な面を上述のように用いる。

また、本発明で用いられるホログラム素子のパワーの面も回転非対称な面であることが同様の理由で望ましい。

なお、ホログラム素子を間に挟んで接合する第1プリズムの第1射出面と第2プリズムの第2入射面の面形状は、上述の曲面形状や回転対称な球面形状の他に、非球面、アナモルフィック面、トーリック面、対称面を1面のみ有する面、面対称自由曲面形状のいずれの形状に形成されていてもよい。

また、本発明で用いる回転非対称な面は、アナモルフィック面、トーリック面、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面で構成することができる。なお、好ましくは、対称面を1面のみ有する自由曲面で構成するとよい。

なお、本発明では、軸上主光線を、観察光学系においては、射出瞳中心を通り観察像形成部材の中心に到達する光線で逆光線追跡で、撮像光学系においては、明るさ絞りの中心を通り撮像素子の中心に到達する光線で順光線追跡で定義する。そして、軸上主光線が射出瞳又は明るさ絞りの中心から第2プリズムの第2射出面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸と定義し、また、このZ軸と直交し、かつ、第2プリズムを構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、さらに、Z軸と直交し、かつ、Y軸と直交する軸をX軸と定義する。また、射出瞳又は明るさ絞りの中心を本発明の観察光学系又は撮像光学系における座標系の

原点とする。また、本発明においては、上述のように射出瞳から観察像形成部材に向かう逆光線追跡、又は明るさ絞りから撮像素子に向かう順光線追跡で面番号をつけることとし、軸上主光線が、射出瞳から観察像形成部材に至る方向又は明るさ絞りから撮像素子に至る方向をZ軸の正方向、観察像形成部材に向かうY軸の方向又は撮像素子に向かうY軸の方向をY軸の正方向、Y軸とZ軸と右手系を構成するX軸の方向をX軸の正方向とそれぞれ定義する。

ここで、本発明で使用する自由曲面は、次式(3)により定義する。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \quad \dots\dots(3)$$

ただし、(3)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。また球面項中、Cは頂点の曲率、kはコーニック定数(円錐定数)、 $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ である。

自由曲面項は次式(4)のように展開することができる。

$$\begin{aligned} & \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \\ &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 X Y + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 X Y^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} X Y^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} X Y^4 + C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &\quad + C_{27} X Y^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &\quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} X Y^6 + C_{36} Y^7 \\ &\quad \dots\dots\dots \\ &\quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

ただし、 C_j (jは2以上の整数)は係数である。

上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面ともに対称面を持つことは

ないが、本発明では、 X の奇数次項を全て0にすることによって、 $Y-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。このような自由曲面は、例えば、上記定義式(4)においては、 C_2 、 C_5 、 C_7 、 C_9 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 、 C_{33} 、 $C_{35} \cdots$ の各項の係数を0にすることによって達成することが可能である。

また、Yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。このような自由曲面は、例えば、上記定義式(4)においては、 C_3 、 C_5 、 C_8 、 C_{10} 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{30} 、 C_{32} 、 C_{34} 、 $C_{36} \cdots$ の各項の係数を0にすることによって達成することが可能である。

また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、Y-Z面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向はY軸方向に、X-Z面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向はX軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性も向上させることが可能となる。

また、上記定義式(3)は、上述のように1つの例として示したものであり、本発明において、対称面を1面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるという特徴を有しているが、上記定義式(3)以外の他のいかなる定義式に対しても同様の効果が得られることは言うまでもない。

本発明において、プリズム部材に設けられた反射面の形状を、唯一の対称面を1面のみ有した面対称自由曲面形状にて構成することができる。

また、アナモルフィック面の形状は次の式(5)により定義される。なお、面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がアナモルフィック面の軸となる。

$$Z = (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) C_x^2 \cdot X^2 - (1 + K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] + \sum R_n \{(1 - P_n) X^2 + (1 + P_n) Y^2\}^{(n+1)} \dots (5)$$

[illegible]

ただし、 Z は面形状の原点に対する接平面からのずれ量、 C_x は X 軸方向曲率、 C_y は Y 軸方向曲率、 K_x は X 軸方向円錐係数、 K_y は Y 軸方向円錐係数、 R_n は球面項回転対称成分、 P_n は非球面項回転非対称成分である。なお、 X 軸方向曲率半径 R_x 、 Y 軸方向曲率半径 R_y と曲率 C_x 、 C_y とは、

の関係にある。

X トーリック面は、次の式(7)で定義される。

Y トーリック面は、次の式(8)で定義される。

ただし、 Z は面形状の原点に対する接平面からのずれ量、 C_x は X 軸方向曲率、 C_y は Y 軸方向曲率、 K は円錐係数、 A 、 B 、 C 、 D は非球面係数である。なお、 X 軸方向曲率半径 R_x 、 Y 軸方向曲率半径 R_y と曲率 C_x 、 C_y とは、

$$R_x = 1 / C_x, \quad R_y = 1 / C_y$$

の関係にある。

ホログラム素子には、レリーフ型ホログラムと体積型ホログラムがある。レリーフ型ホログラムは、入射角選択性や波長選択性が小さく、特定の入射角、波長の光を回折して必要次数光として結像させるが、それ以外の入射角、波長の光についても、回折効率が低下した状態で回折してしまい、不要次数光として結像させてしまうという性質を有する。一方、体積型ホログラムは入射角選択性や波長選択性が高く、特定の波長、入射角の光のみを回折して必要次数光として結像させ、それ以外の光については殆どを0次光として透過させてしまい、不要次数光を結像させ難いという特性を有している。

従って、本発明に用いるホログラム素子として反射型体積ホログラムを用いれば、不要次数光による像ブレの発生を防ぐことができ、鮮明な観察画像を得ることができる。

なお、本発明におけるホログラム素子である体積型ホログラム（H O E）は以下のように定義する。図 1 9 は本発明における H O E を定義するための原理図である。

まず、H O E 面に入射し、さらに射出する波長 λ の光線追跡は、基準波長 λ_0 = H W L に対して定義される H O E 面上での光路差関数 Φ_0 を用いて、次式(9)で与えられる。

$$n_d Q_d \cdot N = n_i Q_i \cdot N + m (\lambda / \lambda_0) \nabla \Phi_0 \cdot N \quad \dots\dots (9)$$

ただし、 N はH O E面の法線ベクトル、 n_i (n_d)は入射側(射出側)の屈折率、 Q_i (Q_d)は入射(射出)ベクトル(単位ベクトル)である。また、 $m = H O R$ は射出光の回折次数である。

HOEが基準波長 λ_0 の2点光源、すなわち図19に示すように点 $P_1 = (HX_1, HY_1, HZ_1)$ を光源とする物体光、および点 $P_2 = (HX_2, HY_2, HZ_2)$ を光源とする参照光の干渉によって製造される(定義される)とすれば、

$$\Phi_0 = \Phi_0^{2P}$$

$$= n_2 \cdot s_2 \cdot r_2 - n_1 \cdot s_1 \cdot r_1$$

となる。ただし、 r_1 (r_2) は点 P_1 (点 P_2) から H O E 面の所定の座標まで

の距離 (> 0)、 n_1 (n_2) は製造時 (定義時) に H O E を置く媒質の、点 P_1 (点 P_2) を配置した側の屈折率であり、 $s_1 = H V 1$ 、および $s_2 = H V 2$ は光の進行方向を考慮する符号である。この符号は光源が発散光源 (実点光源) である場合に、 $R E A = +1$ 、逆に光源が収束する光源 (仮想点光源) の場合に $V I R = -1$ となる。なお、レンズデータ中における H O E の定義として、製造時 (定義時) に H O E を置く媒質の屈折率 n_1 (n_2) は、レンズデータ中で H O E 面が接している媒質の、点 P_1 (点 P_2) が存在する側の屈折率とする。

一般的な場合、H O E を製造する際の参照光と物体光は球面波とは限らない。この場合のH O E の光路差関数 Φ_0 は、多項式で表した付加的な位相項 Φ_{Poly} (基準波長 λ_0 における光路差関数) を加えて次式(10)で表わすことができる。

$$\Phi_0 = \Phi_0^{2P} + \Phi_0^{Poly} \quad \dots\dots (10)$$

ここで、多項式は、

$$\begin{aligned}\Phi_0^{p \circ 1 y} &= \sum_j H_j \cdot x^m \cdot y^n \\ &= H_1 x + H_2 y + H_3 x^2 + H_4 x y + H_5 y^2 + \\ &\quad H_6 x^3 + H_7 x^2 y + H_8 x y^2 + H_9 y^3 + \dots\end{aligned}$$

であり、一般には

$$j = \{ (m + n)^2 + m + 3n \} / 2$$

で定義することができる。ただし、 H_i は各項の係数である。

さらに光学設計の便宜から、光路差関数 Φ_0 を

$$\Phi_0 = \Phi_0^{\text{Poly}}$$

のように付加項のみで表し、それによってH O Eを定義することもできる。例えば、2点光源 P_1 （点 P_2 ）を一致させると光路差関数 Φ_0 の干渉による成分 $\Phi_0^{(2)}$ はゼロとなるので、この場合は実質的に付加項（多項式）のみで光路差関数を表示したことに相当する。

以上のH O Eに関する説明は、すべてH O E 原点を基準とするローカル座標に
対するものである。

以下に、HOEを定義する構成パラメータの例を示す。

面番号	曲率半径	間隔
物体面	∞	∞

THE **NEW** **YORK** **PUBLIC** **LIBRARY**

$$H\ 1 = -1.39 \times 10^{-21}, \quad H\ 2 = -8.57 \times 10^{-5}, \quad H\ 3 = -1.50 \times 10^{-4}$$

図20より、波長520nmの軸上主光線は入射角 $\pm 45.1^\circ$ 近傍では略100%近い回折効率が得られることがわかる。また、図21より、波長520nm ± 7 nm程度の範囲では良好な反射回折効率が得られることがわかる。なお、反射回折後に第1プリズムの反射面で反射されて再度体積型ホログラム面へ入射するときの軸上主光線は、入射角 24.6° で入射するものとする。図20に示すように、上記入射および回折角度の特性を持った体積型ホログラム面の領域に

±24.6°で入射した波長520nmの軸上主光線は、体積型ホログラム素子の高い回折効率を有する角度選択性の範囲から外れ、約0%に近い低い回折効率となるため、そのまま素通りすることがわかる。

なお、後述の実施例においても、体積ホログラム面への軸上主光線の入射角を45.1°、反射回折角度を45.2°とする。

This and other objects as well as the features and advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は本発明の第1実施例にかかる光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図2は第1実施例の像歪みを表す収差図である。

図3は第1実施例のRバンド（赤バンド）の横収差を表す収差図である。

図4は第1実施例のGバンド（緑バンド）の横収差を表す収差図である。

図5は第1実施例のBバンド（青バンド）の横収差を表す収差図である。

図6は本発明の第2実施例にかかる光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図7は第1実施例の構成においてホログラム素子を回折しないで透過した光がゴースト光として悪影響を与えることを示す説明図である。

図8は本発明の観察光学系を用いた頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着した状態を示す図である。

図9は図8の断面図である。

図10は本発明の観察光学系を用いた頭部装着型で片眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着した状態を示す図である。

図11は本発明の撮像光学系及び観察光学系を適用した電子カメラの外観を示す前方斜視図である。

図12は図11の電子カメラの後方斜視図である。

図13は図11の電子カメラの1つの構成を示す断面図である。

図14は本発明の撮像光学系及び観察光学系を適用した別の電子カメラの概念

図である。

図 1 5 は本発明の撮像光学系及び観察光学系を適用した電子内視鏡の概念図である。

図 1 6 は本発明による光学系を構成するプリズムに H O E を配置するときの好ましい構成を示す図である。

図 1 7 は球面形状の基盤部材にホログラム素子を設けた場合の 2 種類のパワーの説明するための図であり、図 1 7 A は正面図、図 1 7 B は側面図である。

図 1 8 は本発明の光学系における軸上主光線と前記ホログラム素子面とが交わる位置における接線と視軸とのなす角度を θ を示すと共に本発明の構成の体積型ホログラム面における回折効率の計算条件を示す説明図である。

図 1 9 は本発明における H O E を定義するための原理図である。

図 2 0 は本発明の構成の体積型ホログラム面における波長が 5 2 0 n m の軸上主光線の入射角に対する回折効率を示すグラフである。

図 2 1 は本発明の構成の体積型ホログラム面における波長に対する入射角度が 4 5 . 1 ° の軸上主光線の回折効率を示すグラフである。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、本発明の観察光学系および撮像光学系の実施例について説明する。

なお、実施例の構成パラメータは後に示すことにする。実施例においては、例えば図 1 に示すように、軸上主光線 2 を、射出瞳 1（又は明るさ絞り 14）の中心（観察者眼球の旋回中心位置）から第 2 プリズム 4、第 1 プリズム 3、観察像形成部材として設けられた LCD 5（又は撮像素子 13）の中心に至る光線で定義する。そして、軸上主光線 2 が第 2 プリズム 4 の射出瞳側の面と交差するまでの直線によって定義される光軸を Z 軸とし、この Z 軸と直交し、かつ、プリズムを構成する各面の偏心面内の軸を Y 軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記 Y 軸と直交する軸を X 軸と定義する。また、射出瞳 1（又は明るさ絞り 14）の中心をこの座標系の原点とする。そして、軸上主光線 2 が射出瞳 1（又は明るさ絞り 14）から LCD 5（又は撮像素子 13）に至る方向を Z 軸の正方向、LCD 5（又は撮像素子 13）に向かう Y 軸の方向を Y 軸の正方向、Y 軸と Z 軸と右手系を構成する X 軸の方向を X 軸の正方向とそれぞれ定義する。

本実施例では、第1プリズムおよび第2プリズムはこのY-Z平面内で偏心を行っており、また、第1プリズムおよび第2プリズムに設けられる各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれ、X，Y，Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、上記式(3)のZ軸）のX軸，Y軸，Z軸のそれぞれを中心とする傾き角（それぞれ α ， β ， γ （°））とが与えられている。なお、その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。その他、球面の曲率半径、面間隔、媒質の屈折率、アッベ数は慣用法によって与えるものとする。

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は上記(3)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

また、自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式がある。この面の形状は次式(11)により定義する。その定義式(11)のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZ軸の高さの極座標で定

義され、 R は $X-Y$ 面内の Z 軸からの距離、 A は Z 軸周りの方位角で Y 軸から測った回転角で表わされる。

$$X = R \times \cos(A)$$

$$Y = R \times \sin(A)$$

$$Z = D_2$$

$$+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A)$$

$$+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A)$$

$$+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A)$$

$$+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A)$$

$$+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{16} R^4 \sin(4A)$$

$$+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A)$$

$$+ D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A)$$

$$+ D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A)$$

$$+ D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A)$$

$$+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A)$$

$$+ D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1)$$

$$+ D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots$$

.....(11)

なお、上記において X 方向に対称な面として表した。ただし、 D_m (m は2以上の整数)は係数である。

また、回転非対称面な自由曲面の形状は次の式(12)により定義することもできる。その定義式(12)の Z 軸が回転非対称面の軸となる。

$$Z = \sum_n \sum_m C_{nm} X^n Y^{n-m} \dots\dots(12)$$

ただし、 \sum_n は Σ の n が $0 \sim k$ 、 \sum_m は Σ の m が $0 \sim n$ を表わす。

また、面对称自由曲面 (対称面を1つのみ有する回転非対称面) を、この回転

非対称面を表わす式(12)により定義する場合は、その対称面により生ずる対称性をX方向に求める場合は、Xの奇数次項を0に（例えばX奇数次項の係数を0にする）、その対称面により生ずる対称性をY方向に求める場合は、Yの奇数次項を0に（例えば、Y奇数次項の係数を0にする）すればよい。

また、回転対称非球面の形状は次式(13)により定義する。その定義式(13)のZ軸が回転対称非球面の軸となる。

$$Z = (Y^2/R) / [1 + \{1 - P(Y^2/R^2)\}^{1/2}] \\ + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots \dots (13)$$

ただし、YはZに垂直な方向であり、Rは近軸曲率半径、Pは円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} は非球面係数である。

なお、本発明の実施例では、上記(3)式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記(11)式、(12)式を用いても同様の作用効果が得られるのは言うまでもない。

第1実施例

本実施例では、観察光学系を用いた画像表示装置として説明する。

本発明の第1実施例に係る観察光学系の光軸を含むY-Z断面図を図1に示す。本実施例の観察光学系は、像面側に観察者が観察する画像を表示する画像形成部材として配置されたLCD5と、画像形成部材によって形成された観察像を観察するために観察者の眼球位置（瞳面）に形成する射出瞳1に導く接眼光学部材を有している。

接眼光学部材は、第1プリズム3と、第2プリズム4を含んで構成されている。

なお、各実施例の説明において、光学系の面番号は原則として射出瞳1からLCD5に至る順番で追跡（逆光線追跡）し、第1および第2プリズムにおける各面の順番も逆光線追跡に合わせて表すこととする。また、光学系を介して射出瞳1とLCD5とを結ぶ光路内を進む光束を第1光束ということとする。

第1プリズム3は、ガラス又はプラスチックなどの透明なプリズム媒質を挟んで、第1入射面 3_3 、反射面 3_2 、第1射出面 3_1 を有している。

第2プリズム4は、ガラス又はプラスチックなどの透明なプリズム媒質を挟ん

で、第2入射面4₂、第2射出面4₁を有している。

第1プリズム3と第2プリズム4とは、その間にホログラム素子として反射型体積ホログラム(HOE)6を挟んで接合されている。

なお、第1プリズム3のプリズム媒質と第2プリズム4のプリズム媒質は、共にガラス又は共にプラスチックというように、同じ媒質で構成されている。

第 1 プリズム 3 の第 1 入射面 3₃ は、LCD 5 側に配置されていて、観察像からの光線を透過して第 1 プリズム 3 内に入射させる作用を有し、透過時にその光線にパワーを与えるような対称面が一面のみの自由曲面形状に形成されている。

反射面 3₂は、第 1 プリズム 3 内で光線を反射させる作用を有し、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面（ここでは自由曲面）に形成されている。また、反射面 3₃には、ミラーコーティングが施されている。

第1射出面3₁は、第1プリズム3外に光線を射出させる作用を有する、回転対称な球面形状に形成されている。

第2プリズムの第2入射面4₂は、第1プリズム3側に配置されていて、第1プリズム3から射出した光線を透過して第2プリズム4内に入射させる作用を有する、回転対称な球面形状に形成されている。

第2射出面4₁は、第2プリズム4外に光線を射出させる作用を有し、透過時に光線にパワーを与えるような対称面が一面のみの自由曲面形状に形成されており、前記接眼光学部材で発生する回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を有している。

なお、第1プリズム3の第1入射面 3_3 、第2プリズム4の第2射出面 4_1 の自由曲面における唯一の対称面は、光軸の折り返し面（Y-Z面）に一致している。

また、第1プリズム3の第1射出面3₁の回転対称な球面形状と第2プリズム4の第2入射面4₂の回転対称な球面形状とは、略同一の形状で構成されている。

体積型ホログラム6は、上述のように、第1光束が第1の入射角度（例えば、波長520nmの光線については、 45.1° ）で入射したときにはその光束を回折反射し、第1光束が第1の入射角度以外の角度で入射したときには、その光束を透過させるように構成されている。

そして、本実施例の観察光学系では、LCD5から射出された第1光束は、第

1 入射面 3₃を透過して第1プリズム3の内部に入射した後、第1射出面 3₁に貼り付けられた体積型ホログラム6に対し第1の入射角度で入射する。このとき、入射した第1光束は、体積型ホログラム6面において100%近い反射回折効率でもって回折反射され、反射面 3₂に向かい反射面 3₂で反射されて、第1射出面 3₁に貼り付けられた体積型ホログラム6に対し第1の入射角度以外の入射角度で入射する。このときの入射角度は、体積型ホログラム6の高い回折効率を有する回折効率の角度選択性より外れるため、第1光束の入射光は、体積型ホログラム6を透過して、第1プリズム3から射出する。その後、第1光束は、第2プリズム4の第2入射面 4₁を透過して第2プリズム4の内部に入射し、第2射出面 4₂を透過することによって第2プリズム4から射出して射出瞳1側に導かれる。

なお、本発明の実施例においては、観察光学系として説明することとするが、観察光学系の像面にLCD5に換えて撮像素子13を配置し、瞳面（射出瞳1の位置）に物体からの光束の明るさを絞る明るさ絞り14を配置することにより、撮像光学系として構成することができる。

その場合には、第1プリズム3の第1入射面 3₃は、第1プリズム3外に光線を射出させる面（第4射出面）として作用し、第1射出面 3₁は、第2プリズム4から射出した光線を第1プリズム3内に入射させる面（第4入射面）として作用する。また、第2プリズム4の第2入射面 4₂は、第2プリズム4外に光線を射出させる面（第3射出面）として作用し、第2射出面 4₁は、明るさ絞り14を通過した物体からの光線を第2プリズム4内に入射させる面（第3入射面）として作用する。

そして、本発明を撮像光学系として構成した場合には、明るさ絞り14を通過した物体からの光線は、第2プリズム4の第3入射面 4₁を透過して第2プリズム4内に入射した後、第2プリズム4の第3射出面 4₂に貼り付けられた体積型ホログラム6に対し第1の入射角度以外の入射角度で入射する。このときの入射角度は、体積型ホログラム6の高い回折効率を有する回折効率の角度選択性より外れるため、第1光束の入射光は、体積型ホログラム6を透過して、第2プリズム4から射出し、次いで、第1プリズムの第4入射面 3₁を透過して第1プリズム3内に入射する。その後光束は、第1プリズム3の反射面 3₂に向かい反射面

3₂で反射されて、第4入射面3₁に貼り付けられた体積型ホログラム6に対しほぼ第1の入射角度（波長520nmの光線については、45.2°）で入射する。このとき、入射した第1光束は、体積型ホログラム6により100%近い反射回折効率でもって回折反射されて、第4射出面3₃を透過して、第1プリズム3を射出して、撮像素子13に導かれる。

その他、体積型ホログラムは、R、G、Bの3層を貼り合わせて構成されており、カラー像を観察することができるようになっている。

次に、第1実施例の数値データを示す。数値データ中、“FFS”は自由曲面を示している。

本実施例に用いる画像表示素子は、対角が0.7インチ、アスペクト比が16:9、サイズが縦8.72mm×横15.50mm、中心視度が-1.0DのLCDを使用している。また、観察画角は、水平半画角18.0°、垂直半画角10.36°であり、瞳径は、Φ4.0mm、アイリリーフは28.0mmである。

また、本実施例の像歪みを表す収差図を図2に、RGBそれぞれの波長領域における横収差を表す収差図を図3～5にそれぞれ示す。図2中、縦軸はX方向の像高、横軸はY方向の像高を示している。また、図3～5中、図3A、図4A、図5Aは夫々X方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、図3B、図4B、図5Bは夫々X方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のX方向の横収差、図3C、図4C、図5Cは夫々X方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図3D、図4D、図5Dは夫々X方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図3E、図4E、図5Eは夫々X正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図3F、図4F、図5Fは夫々X正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図3G、図4G、図5Gは夫々X正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、図3H、図4H、図5Hは夫々X正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のX方向の横収差、図3I、図4I、図5Iは夫々X正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図3J、図4J、図5Jは夫々X正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図3K、図4K、図5Kは夫々X方

1. What is the purpose of the study?
 2. What are the research questions or hypotheses?
 3. What is the study design?
 4. What is the sample size and how was it selected?
 5. What are the variables being studied?
 6. What are the data collection methods?
 7. What are the results of the study?
 8. What are the conclusions and implications of the study?
 9. What are the limitations of the study?
 10. What are the strengths of the study?

THE **WORLD'S** **GREATEST** **LIBRARY**

X = 0.00 Y = 19.76 Z = 39.40
 $\alpha = -111.02$ $\beta = 0.00$ $\gamma = 0.00$

条件式(1),(2) $|\theta| = 65.05^\circ$

本発明の第２実施例を図６に示す。図６は第２実施例にかかる観察光学系の光

軸を含む Y-Z 要部断面図である。図 7 は、第 1 実施例の構成においてホログラム素子を回折しないで透過した光がゴースト光として悪影響を与えることを示す説明図である。

第 1 実施例の構成において、光束が体積型ホログラム 6 に対して第 1 の入射角度で入射した場合であっても、所定の波長領域の光線は、例えば図 20 に示すように、100%回折反射するのではなく、極く僅かに回折反射しない不要次数光が発生して透過光が発生する。

そして、その透過光が例えば、図 7 に示す接眼光学系の底面 4_3 や側面（紙面に垂直な方向の面）に光が当たり、その反射光がゴースト光として観察者の眼球に入射するおそれがある。

そこで、本実施例では、図 6 に示すように、第 1 実施例の構成に加えて、第 1 プリズム 3 の側面や第 2 プリズム 4 の側面及び底面 4₃ にゴースト光除去部材として黒色塗料など光を吸収する性質を有する部材をペイント処理を施す等して設けている。なお、本実施例では、ゴースト光除去部材 15 を、第 1 プリズム 3 の第 1 入射面 3₃ 内の光線有効径外や、第 1 プリズムの反射面 3₂ 内の光線有効径外や、第 2 プリズム 4 の第 2 射出面 4₁ 内の光線有効径外の領域などの非光学作用面（第 1 プリズム 3 と第 2 プリズム 4 において、第 1 光束を透過又は反射させる光学作用面以外の面）に含まれる部位にも設けている。

次に、以上のような本発明による観察光学系、撮像光学系は、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置や、物体像を形成しその像をＣＣＤや銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影を行なう撮影装置として用いることが可能である。具体的には、顕微鏡、頭部装着型画像表示装置、内視鏡、プロジェクター、銀塩カメラ、デジタルカメラ、ＶＴＲカメラ等がある。以下にその実施形態を例示する。

その一例として、図 8 に頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着した状態を、図 9 にその断面図を示す。この構成は、本発明による観察光学系を図 10 に示すように画像表示素子 5 を備えた接眼光学系 100 として用いており、この接眼光学系 100 を左右一対用意し、それらを眼幅距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着型画像表示装

置のようなポータブル型の画像表示装置 102 として構成されている。

すなわち、画像表示装置本体 102 には、上記のような観察光学系が接眼光学系 100 として用いられ、その接眼光学系 100 が左右一対備えられ、それらに対応して像面に液晶表示素子からなる画像表示素子 5 が配置されている。そして、画像表示装置本体 102 には、図 8 に示すように、左右に連続して図示のような側頭フレーム 103 が設けられ、画像表示装置本体 102 を観察者の眼前に保持できるようになっている。なお、図 9 に示すように、接眼光学系 100 の射出瞳と第 2 プリズム 4 の第 2 射出面 4₁ との間にカバー部材 91 が配置されている。このカバー部材 91 としては、平行平板、正レンズあるいは負レンズの何れを用いてもよい。

また、側頭フレーム１０３にはスピーカ１０４が付設されており、画像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカ１０４を有する表示装置本体１０２には、映像音声伝達コード１０５を介してポータブルビデオカセット等の再生装置１０６が接続されており、観察者はこの再生装置１０６を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像音響を楽しむことができるようになっている。図８の符号１０７は再生装置１０６のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、画像表示装置本体１０２の内部には映像処理、音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

なお、コード105は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV電波受信用チューナーに接続してTV鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

さらに、本発明による観察光学系は、接眼光学系を左右何れか一方の眼前に配置した片眼用の頭部装着型画像表示装置に用いてもよい。図10にその片眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着（この場合は、左眼に装着）した状態を示す。この構成では、画像表示素子5を備えた接眼光学系100を1組備えた表示装置本体102が前フレーム108の対応する眼の前方位位置に取り付けられ、

その前フレーム 108 には左右に連続して図示のような側頭フレーム 103 が設けられており、表示装置本体 102 を観察者の片眼前に保持できるようになっている。その他の構成は図 8 の場合と同様であり、説明は省く。

また、図 11 ～ 図 13 は、本発明による撮像光学系の要部構成を電子カメラのファインダー部の対物光学系に組み込んだ構成の概念図を示す。図 11 は電子カメラ 40 の外観を示す前方斜視図、図 12 は同後方斜視図、図 13 は電子カメラ 40 の構成を示す断面図である。

電子カメラ 40 は、この例の場合、撮影用光路 42 を有する撮影光学系 41、ファインダー用光路 44 を有するファインダー光学系 43、シャッター鉤 45、フラッシュ 46、液晶表示モニター 47 等を含み、カメラ 40 の上部に配置されたシャッター鉤 45 を押圧すると、それに連動して撮影用対物光学系 48 を通して撮影が行なわれる。撮影用対物光学系 48 によって形成された物体像が、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター 51 を介して CCD 49 の撮像面 50 上に形成される。

この CCD 49 で受光された物体像は、処理手段 52 を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター 47 に表示される。また、この処理手段 52 には記録素子 61 が配置され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録素子 61 は処理手段 52 と別体に設けられてもよいし、フロッピーディスク等により電子的に記録書込を行なうように構成してもよい。また、CCD 49 に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路 44 上には、ファインダー用対物光学系 53 が配置されており、このファインダー用対物光学系 53 は、カバーレンズ 54 と、フォーカシングのために光軸方向に位置調節可能な正レンズ群 57 と、明るさ絞り 14 と第 1 プリズム 3 と第 2 プリズム 4 とを備えてなる。また、カバー部材として用いられているカバーレンズ 54 は、負のパワーを有するレンズ群であり、画角を拡大している。なお、第 1 プリズム 3 は、本発明の実施例 1、2 の第 1 プリズム 3 の構成に加えて、第 4 入射面 3₁ に設けられたホログラム 6 からの回折反射光が第 4 射出面 3₃ に至る光路の途中に反射面 3₄ を有している。このファインダー用対物光学系 53 によって結像面 90 上に形成された物体像は、像正立部材

であるポロプリズム 55 の視野枠上に形成される。

なお、その視野枠は、ポロプリズム 55 の第 1 反射面 56₁ と第 2 反射面 56₂ との間を分離し、その間に配置されている。なお、ポロプリズム 55 は第 1 反射面 56₁ から第 4 反射面 56₄ でなる。このポロプリズム 55 の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球 E に導く接眼光学系 59 が配置されている。

このように構成されたカメラ４０は、ファインダー用対物光学系５３を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、対物光学系５３の光路自体を折り曲げて構成できるため、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

なお、図 13 の構成において、撮影用対物光学系 48 の構成については言及しなかったが、撮影用対物光学系 48 としては屈折型同軸光学系の他に、本発明の本発明の実施例 1, 2 に示すような 2 つのプリズム 3, 4 からなる何れかのタイプの撮像光学系を用いることも当然可能である。

また、接眼光学系 5 9 を本発明の実施例 1, 2 に示すような 2 つのプリズム 3, 4 からなる何れかのタイプの接眼光学部材を用いて構成してもよい。

次に、図 1 4 は本発明の撮像光学系を電子カメラ 4 0 の撮影部の対物光学系 4 8 に、本発明の観察光学系を電子カメラ 4 0 の接眼光学系 5 9 に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合は、撮影用光路 4 2 上に配置された撮影用対物光学系 4 8 は、正レンズからなるカバー部材 6 5 と本発明の実施例 1，2 に示すような 2 つのプリズム 3，4 からなる何れかのタイプの撮像光学系からなる。そして、その第 1 プリズム 3 と CCD 4 9 との間にローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター 5 1 が配置されており、この撮影用対物光学系 4 8 により形成された物体像は CCD 4 9 の撮像面 5 0 上に形成される。この CCD 4 9 で受光された物体像は、処理手段 5 2 を介し、液晶表示素子（LCD）6 0 上に電子像として表示される。また、この処理手段 5 2 は、CCD 4 9 で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段 6 1 の制御も行なう。LCD 6 0 に表示された画像は、接眼光学系 5 9 を介して観察者眼球 E に導かれる。

この接眼光学系 59 は、本発明の実施例 1、2 に示すような観察光学系と同様の形態を持つ偏心プリズム光学系 3、4 とその射出瞳側に配置されたカバーレン

ズ 91 とからなる。また、LCD 60 の背後にはそれを照明するバックライト 92 が配置されている。なお、この撮影用対物光学系 48 は他のレンズ（正レンズ、負レンズ）を 2 つのプリズム 3, 4 の物体側あるいは像側にその構成要素として含んでいてもよい。

このように構成されたカメラ 40 は、撮影用対物光学系 48、接眼光学系 59 を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの薄型化が実現できる。

なお、本例では、撮影用対物光学系 48 のカバー部材 65 として、正レンズを配置しているが、負レンズあるいは平行平板を用いてもよい。

ここで、カバー部材を設けずに、本発明の撮像光学系の最も物体側に配置された面をカバー部材と兼用することもできる。本例では、その最も物体側の面は第 2 プリズム 4 の第 3 入射面 4₁ となる。しかし、この入射面 4₁ が光軸に対して偏心配置されているため、この面がカメラ前面に配置されてしまうと、被写体側から見た場合、カメラ 40 の撮影中心が自分からずれているように錯覚してしまい（一般的なカメラ同様、入射面の垂直方向を撮影していると感じるのが通常である。）、違和感を与えてしまう。そこで、本例のように、結像光学系の最も物体側の面が偏心面である場合には、カバー部材 65（又は、カバーレンズ 54）を設けることが、被写体側から見た場合に違和感を受けずに、既存のカメラと同じ感覚で撮影を受けることができ望ましい。

次に、図 15 は、本発明による撮像光学系を電子内視鏡の観察系の対物光学系 82 に、本発明による観察光学系を電子内視鏡の観察系の接眼光学系 87 に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合、観察系の対物光学系 82、接眼光学系 87 は実施例 1、2 と略同様の形態の光学系を用いている。この電子内視鏡は、図 15 A に示すように、電子内視鏡 71 と、照明光を供給する光源装置 72 と、その電子内視鏡 71 に対応する信号処理を行なうビデオプロセッサ 73 と、このビデオプロセッサ 73 から出力される映像信号を表示するモニター 74 と、このビデオプロセッサ 73 と接続され映像信号等に記録する VTR デッキ 75 及びビデオディスク 76 と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ

にて形成されている場合には、面对称自由曲面の対称面Dは、像面Cの互いに平行関係にある2辺に対して平行に配置され、この対称面Dが像面Cを左右又は上下対称にさせる位置に一致するように構成することが好ましい。このように構成すれば、装置に組み込むときの組み込み精度が出しやすく、量産性に効果的である。

さらに、偏心プリズムP1、P2を構成する光学面である第1-1面（第1プリズム3の第1入射面 3_3 ）、第1-2面（第1プリズム3の第1射出面 3_1 ）、第1-3面（第1プリズム3の反射面 3_2 ）、第2-1面（第2プリズム4の第2入射面 4_2 ）、第2-2面（第2プリズム4の第2射出面 4_1 ）等の内、複数の面又は全ての面が面对称自由曲面の場合には、複数の面又は全ての面の対称面が同一面Dの上に配置されるように構成することが、設計上も、収差性能上も望ましい。そして、この対称面Dと回折素子6のパワーの面との関係は、上述と同様の関係にあることが望ましい。

[illegible]

前記接眼光学部材が少なくとも、第 1 プリズム部材と第 2 プリズム部材とを含み、

前記第 2 プリズムが少なくとも、第 2 プリズム媒質を間に挟んで、前記第 1 プリズムから射出した光線を前記第 2 プリズム内に入射させる第 2 入射面と、前記第 2 プリズム外に光線を射出させる第 2 射出面とを有し、

前記第 1 プリズムの前記反射面が、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面に形成され、

前記第 2 プリズムの前記第 2 射出面が、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成されていることを特徴とする観察光学系。

前記結像光学部材が少なくとも、第2プリズム部材と第1プリズム部材とを含み、

1

前記第 2 プリズム外に光線を射出させる第 3 射出面とを有し、

前記第 1 プリズムが少なくとも、第 1 プリズム媒質を間に挟んで、前記第 2 プリズムから射出した光線を前記第 1 プリズム内に入射させる第 4 入射面と、前記第 1 プリズム内で光線を反射させる反射面と、前記第 1 プリズム外に光線を射出させる第 4 射出面とを有し、

前記第 2 プリズムと前記第 1 プリズムとが、前記第 3 射出面と前記第 4 入射面との間にホログラム素子を挟んで接合配置されるように構成され、

前記第 1 プリズムの前記反射面が、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面に形成され、

前記第 1 プリズムの前記第 4 射出面が、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成され、

前記第 2 プリズムの前記第 3 入射面が、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に形成されていることを特徴とする撮像光学系。

3. 像面と瞳面の間にクレーム 1 又はクレーム 2 に記載の光学系を備えた装置。

4. クレーム 1 に記載の観察光学系において、

前記第 1 プリズム媒質と前記第 2 プリズム媒質とが同種の媒質で構成された観察光学系。

5. クレーム 1 に記載の観察光学系において、

前記第 1 プリズムの第 1 射出面の面形状と前記第 2 プリズムの第 2 入射面の面形状とが、略同一形状にて構成された観察光学系。

6. クレーム 1 に記載の観察光学系において、

前記第 1 プリズムの第 1 射出面の面形状と前記第 2 プリズムの第 2 入射面の面形状とが、ともに曲面形状にて構成されている観察光学系。

7. クレーム 1 に記載の観察光学系において、

前記第 1 プリズムの第 1 射出面の面形状と前記第 2 プリズムの第 2 入射面の面形状とが、ともに回転対称な球面形状にて構成されている観察光学系。

8. クレーム 1 に記載の観察光学系において、

前記第 1 プリズムと前記第 2 プリズムに備えた、光線を透過及び／又は反射さ

せる光学作用面以外の非光学作用面に、ゴースト光が観察者の眼球へ入射しないようなゴースト光除去部材を設けた観察光学系。

9. クレーム1に記載の観察光学系において、

前記第1プリズムの第1入射面の面形状が回転非対称な曲面形状にて構成されている観察光学系。

10. クレーム1に記載の観察光学系において、

前記ホログラム素子が光線を反射回折により回転対称成分と回転非対称成分の両方の倍率色収差を補正するように構成された観察光学系。

11. クレーム1に記載の観察光学系において、

軸上主光線と前記ホログラム素子の基盤面とが交わる位置における接線と視軸とのなる角度を θ としたとき、次の条件式(1)を満足することを特徴とする観察光学系。

$$50\text{度} < \theta < 80\text{度} \quad \dots\dots(1)$$

12. クレーム1に記載の観察光学系において、

軸上主光線と前記ホログラム素子の基盤面とが交わる位置における接線と視軸とのなる角度を θ としたとき、次の条件式(2)を満足することを特徴とする観察光学系。

$$60\text{度} < \theta < 70\text{度} \quad \dots\dots(2)$$

13. クレーム1に記載の観察光学系において、

前記第1プリズムの第1入射面の面形状が回転非対称な曲面形状にて構成され、
該回転非対称な曲面形状は、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、
該唯一の対称面は、光軸の折り返し面（Y-Z平面）に一致している観察光学系。

14. クレーム1に記載の観察光学系において、

前記第2プリズムの前記第2射出面の面形状が、前記接眼光学部材で発生する回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成されている観察光学系。

15. クレーム1に記載の観察光学系において、

前記第2プリズムの前記第2射出面の面形状が、前記接眼光学部材で発生する

回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成され、

該回転非対称な曲面形状は、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、該唯一の対称面は、光軸の折り返し面（ $Y-Z$ 平面）に一致している観察光学系。

16. クレーム1に記載の観察光学系を内蔵した本体部と、前記観察光学系の射出瞳を観察者の眼球位置に保持するように前記本体部を観察者頭部に支持する支持部材と、前記観察者の耳に音声を与えるスピーカ部材とを有していることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

17. クレーム1に記載の観察光学系を内蔵した本体部と、前記観察光学系の射出瞳を観察者の眼球位置に保持するように前記本体部を観察者頭部に支持する支持部材と、前記観察者の耳に音声を与えるスピーカ部材とを有し、

前記本体部が、右眼用の観察光学系と左眼用の観察光学系とを備え、

前記スピーカ部材が、右耳用スピーカ部材と左耳用スピーカ部材とを有するように構成されていることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

18. クレーム1に記載の観察光学系を内蔵した本体部と、前記観察光学系の射出瞳を観察者の眼球位置に保持するように前記本体部を観察者頭部に支持する支持部材と、前記観察者の耳に音声を与えるスピーカ部材とを有し、

前記スピーカ部材がイヤホンで構成されていることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

19. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第 1 プリズム媒質と前記第 2 プリズム媒質とが同種の媒質で構成された撮像光学系。

20. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第 1 プリズムの第 4 入射面の面形状と前記第 2 プリズムの第 3 射出面の面形状とが、略同一形状にて構成された撮像光学系。

21. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第 1 プリズムの第 4 入射面の面形状と前記第 2 プリズムの第 3 射出面の面形状とが、ともに曲面形状にて構成されている撮像光学系。

22. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第1プリズムの第4入射面の面形状と前記第2プリズムの第3射出面の面形状とが、ともに回転対称な球面形状にて構成されている撮像光学系。

23. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第1プリズムと前記第2プリズムに備えた、光線を透過及び／又は反射させる光学作用面以外の非光学作用面に、ゴースト光が観察者の眼球へ入射しないようなゴースト光除去部材を設けた撮像光学系。

24. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第1プリズムの第4射出面の面形状が回転非対称な曲面形状にて構成されている撮像光学系。

25. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記ホログラム素子が光線を反射回折により回転対称成分と回転非対称成分の両方の倍率色収差を補正するように構成された撮像光学系。

26. クレーム2に記載の撮像光学系において、

軸上主光線と前記ホログラム素子の基盤面とが交わる位置における接線と視軸とのなる角度を θ としたとき、次の条件式(1)を満足することを特徴とする撮像光学系。

$$50\text{度} < \theta < 80\text{度} \quad \dots\dots(1)$$

27. クレーム2に記載の撮像光学系において、

軸上主光線と前記ホログラム素子の基盤面とが交わる位置における接線と視軸とのなる角度を θ としたとき、次の条件式(2)を満足することを特徴とする撮像光学系。

$$60\text{度} < \theta < 70\text{度} \quad \dots\dots(2)$$

28. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第1プリズムの第4射出面の面形状が回転非対称な曲面形状にて構成され、
該回転非対称な曲面形状は、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、
該唯一の対称面は、光軸の折り返し面（Y-Z平面）に一致している撮像光学系。

29. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第2プリズムの前記第3入射面の面形状が、前記接眼光学部材で発生する

回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成されている撮像光学系。

30. クレーム2に記載の撮像光学系において、

前記第2プリズムの前記第3入射面の面形状が、前記接眼光学部材で発生する回転非対称なコマ収差又は非点収差の少なくとも一方の回転非対称な収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成され、

該回転非対称な曲面形状は、対称面が一面のみの自由曲面にて構成され、

該唯一の対称面は、光軸の折り返し面（Y-Z平面）に一致している観察光学系。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

観察像形成部材によって形成された観察像を射出瞳に導く接眼光学部材が、第1プリズム媒質を間に挟んで、第1入射面、反射面、第1射出面を有する第1プリズムと、第2プリズム媒質を間に挟んで、第2入射面、第2射出面を有する第2プリズムとを、第1射出面と第2入射面との間にホログラム素子を挟んで接合配置して構成されている。反射面が、反射時に光線に正のパワーを与えるような凹面形状の曲面に、第1入射面、第2射出面が、透過時に光線にパワーを与えるような曲面形状に夫々形成されている。これにより、明るい表示画像の観察が可能であり、組み立てが容易で、振動などの衝撃に強く、軽く、コンパクトで、更に良好に収差補正された表示画像の観察が可能な観察光学系及びそれを用いた装置を提供することができる。

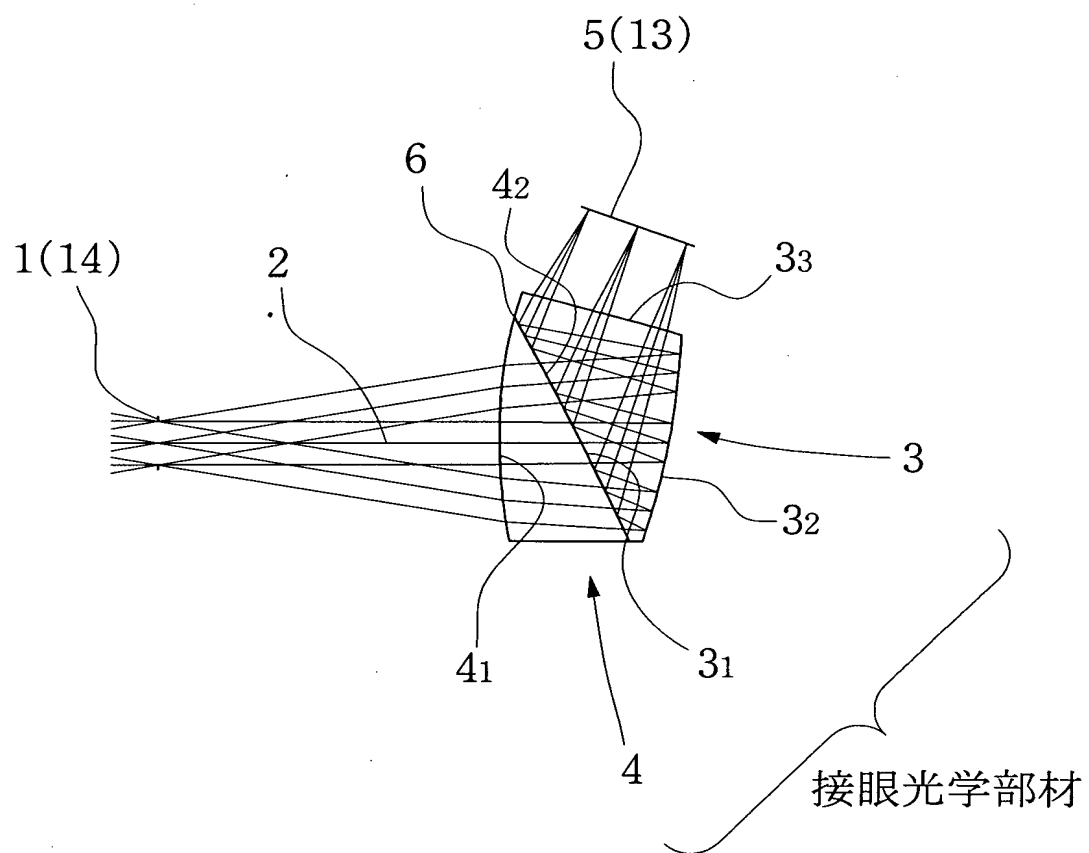


FIG. 2

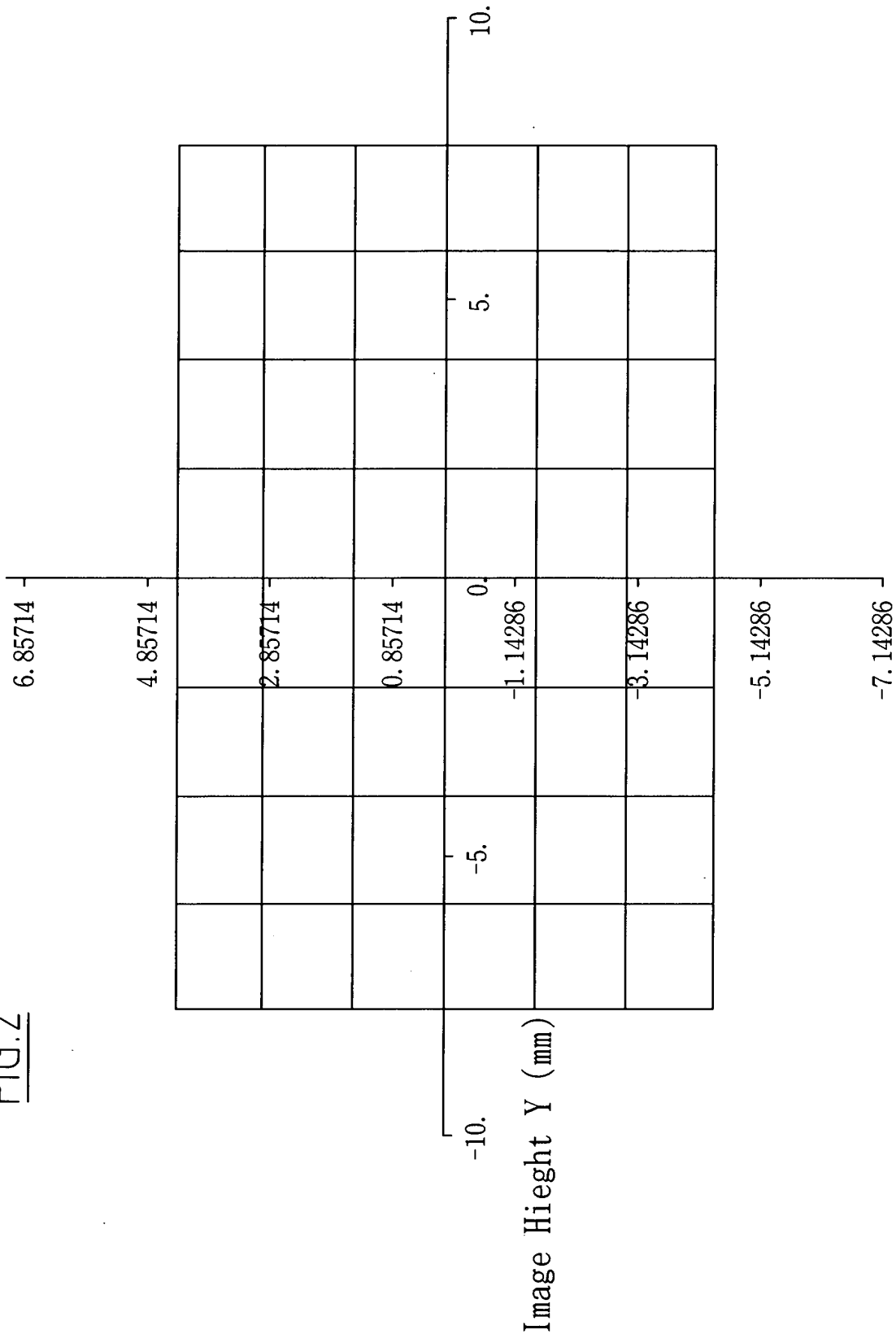


FIG.3A

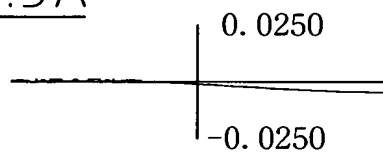


FIG. 3C

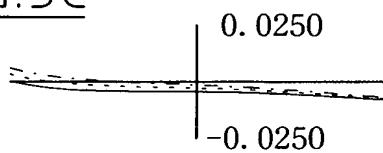


FIG. 3E

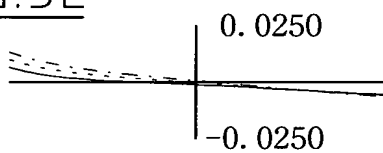


FIG. 3G

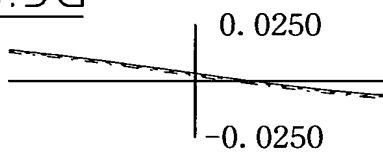


FIG.31

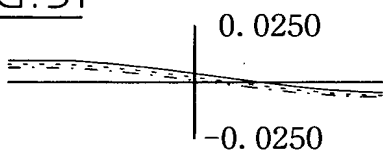


FIG. 3K

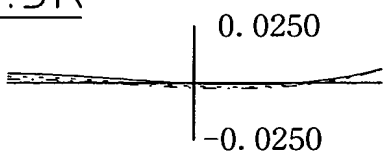


FIG. 3B

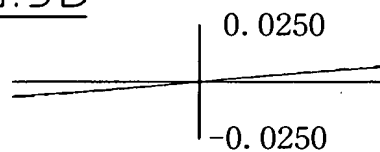


FIG. 3D

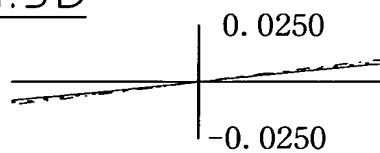


FIG. 3F

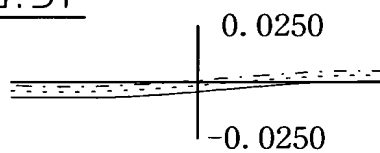


FIG.3H

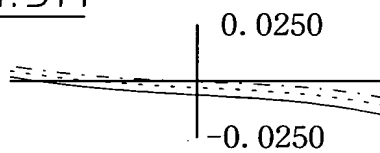


FIG.3J

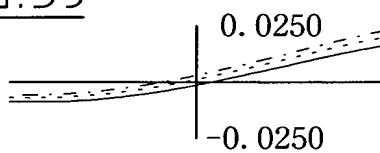
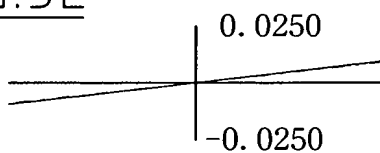


FIG. 3L



_____ 650.0 NM
 - - - - - 630.0 NM
 - . - . - . 610.0 NM

実施例 1 の赤バンドの横収差図

FIG.4A

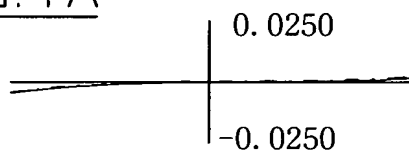


FIG.4B

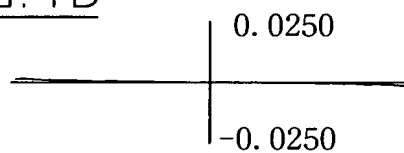


FIG.4C

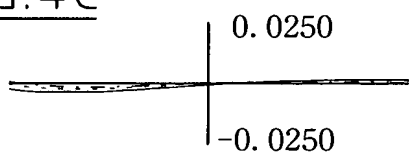


FIG.4D

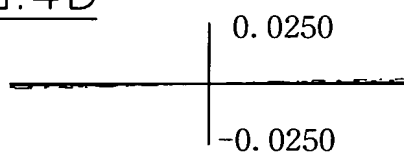


FIG.4E

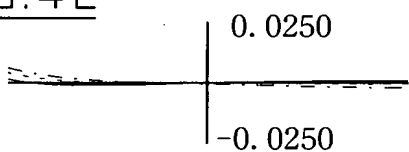


FIG.4F

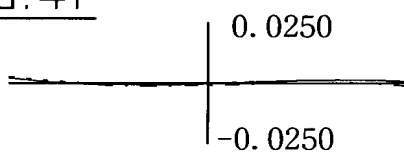


FIG.4G

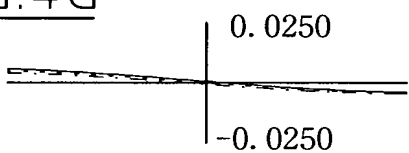


FIG.4H

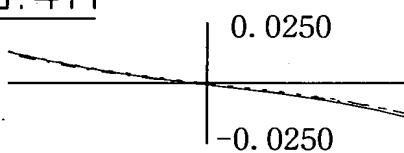


FIG.4I

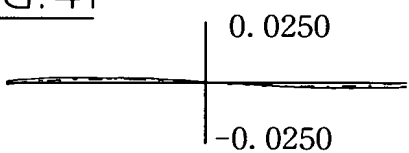


FIG.4J

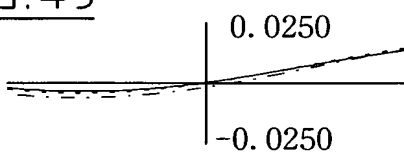


FIG.4K

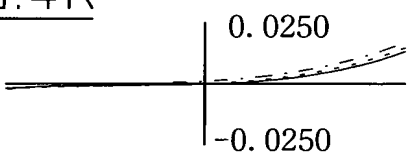
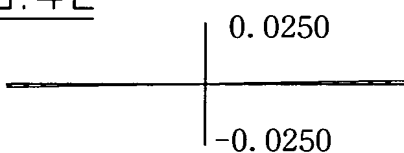


FIG.4L



— 540.0 NM
 - - - 520.0 NM
 - - - 500.0 NM

実施例 1 の緑バンドの横収差図

FIG.5A

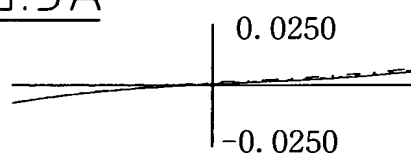


FIG.5B

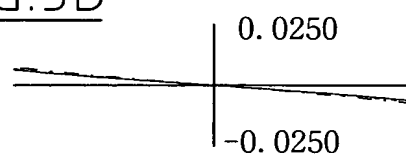


FIG.5C

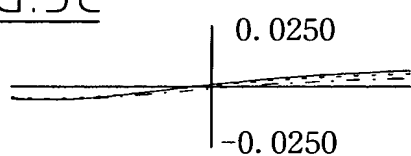


FIG.5D

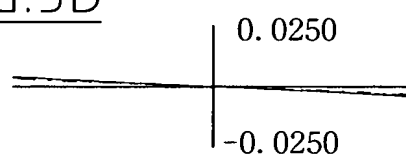


FIG.5E

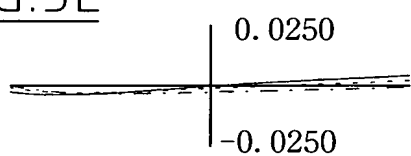


FIG.5F

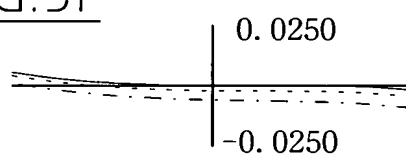


FIG.5G

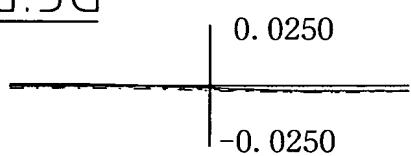


FIG.5H

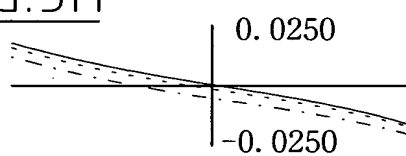


FIG.5I

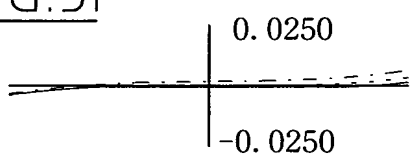


FIG.5J

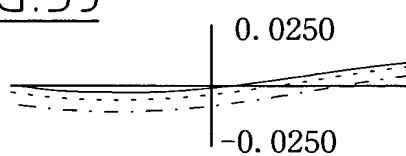


FIG.5K

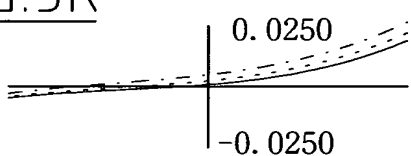
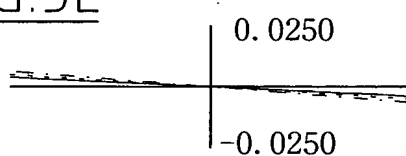


FIG.5L



————— 490.0 NM
 - - - - - 470.0 NM
 450.0 NM

実施例 1 の青バンドの横収差図

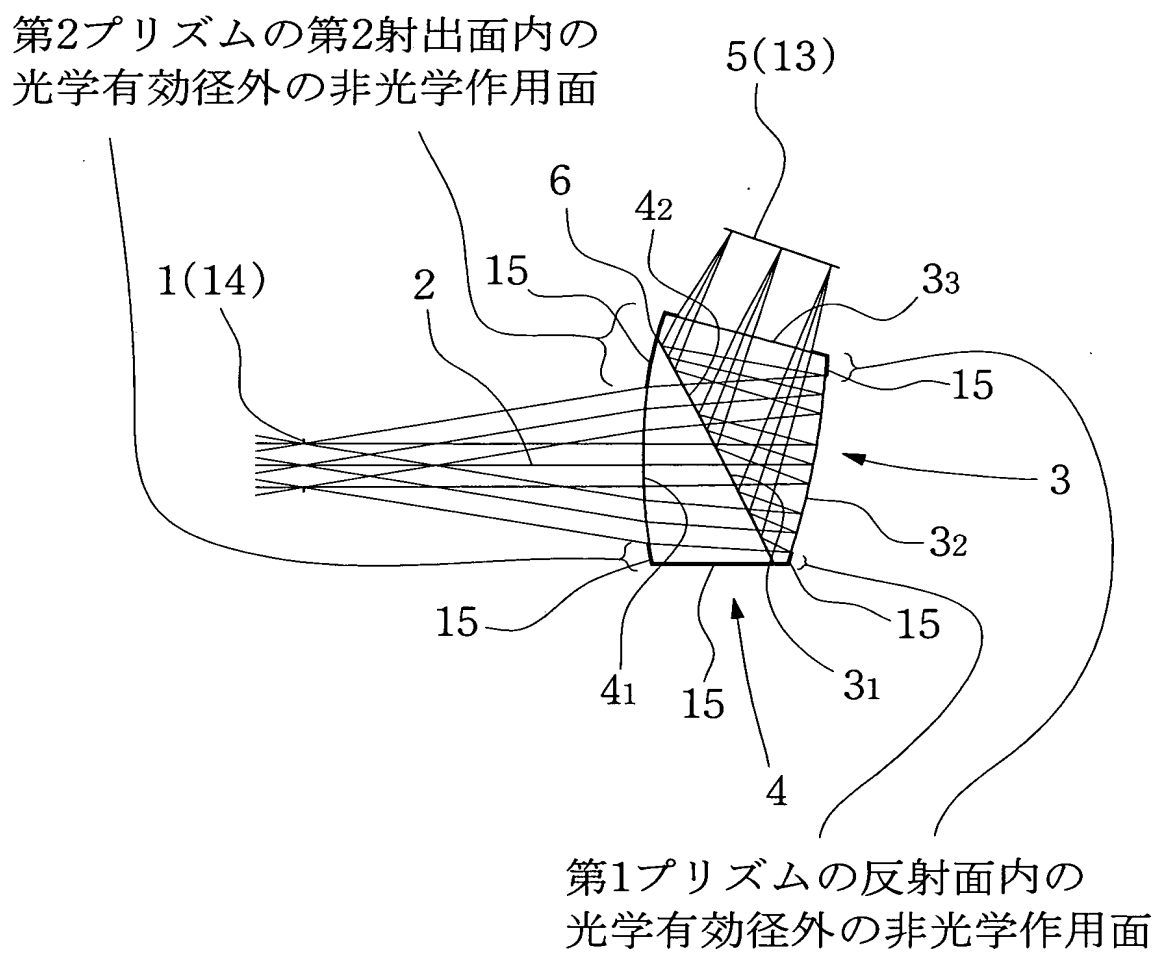


FIG.7

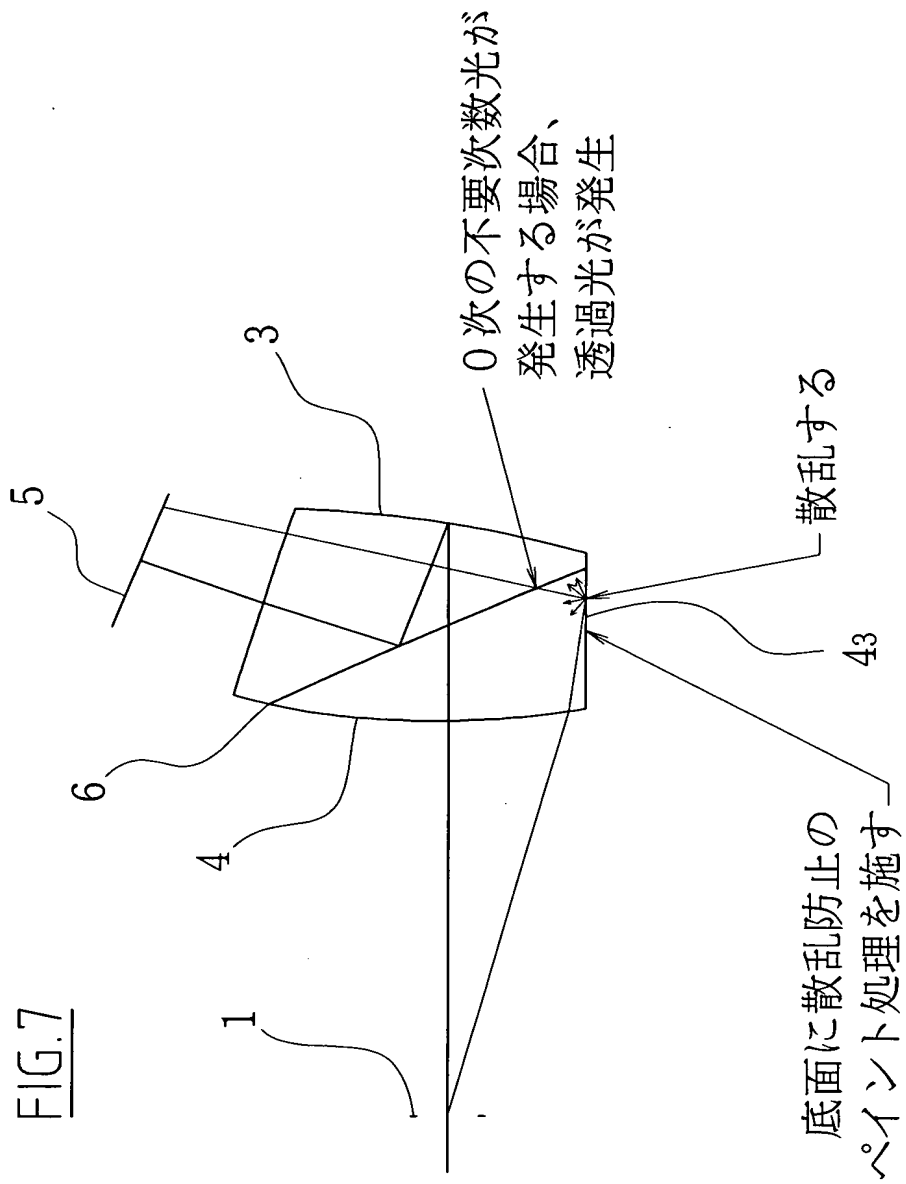


FIG.8

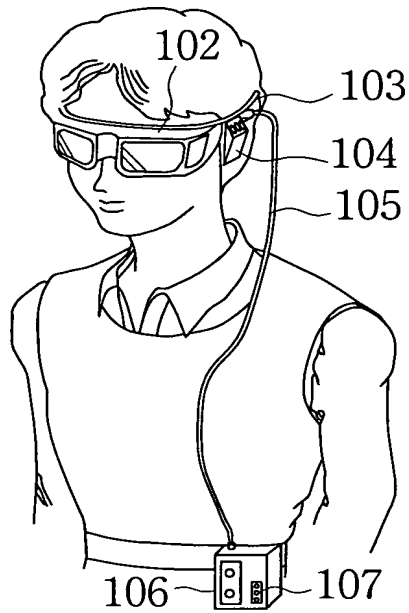


FIG.9

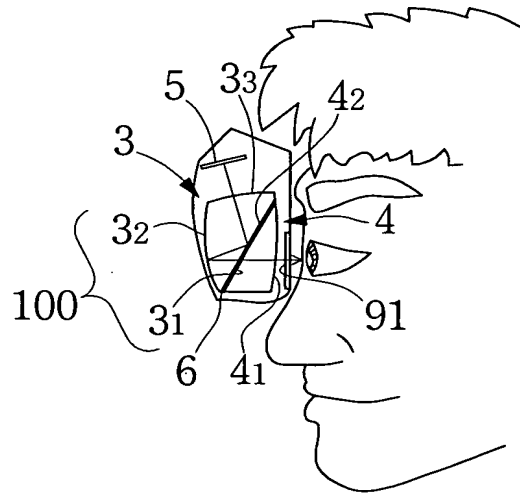


FIG.10

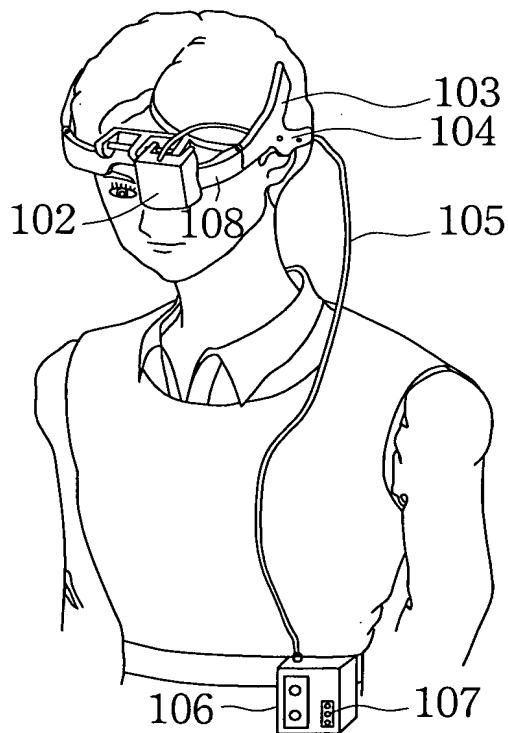


FIG.11

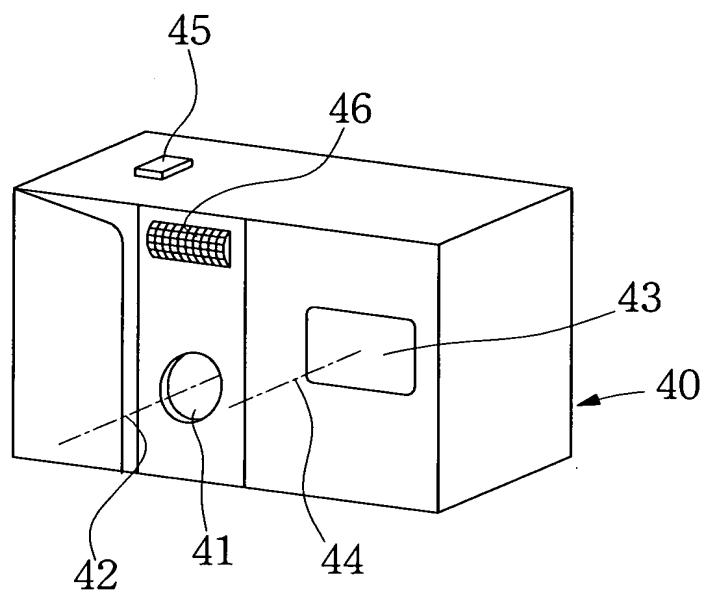


FIG.12

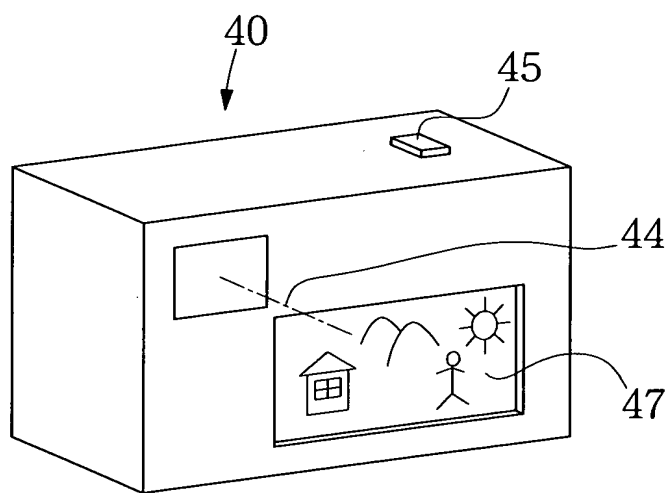


FIG.13

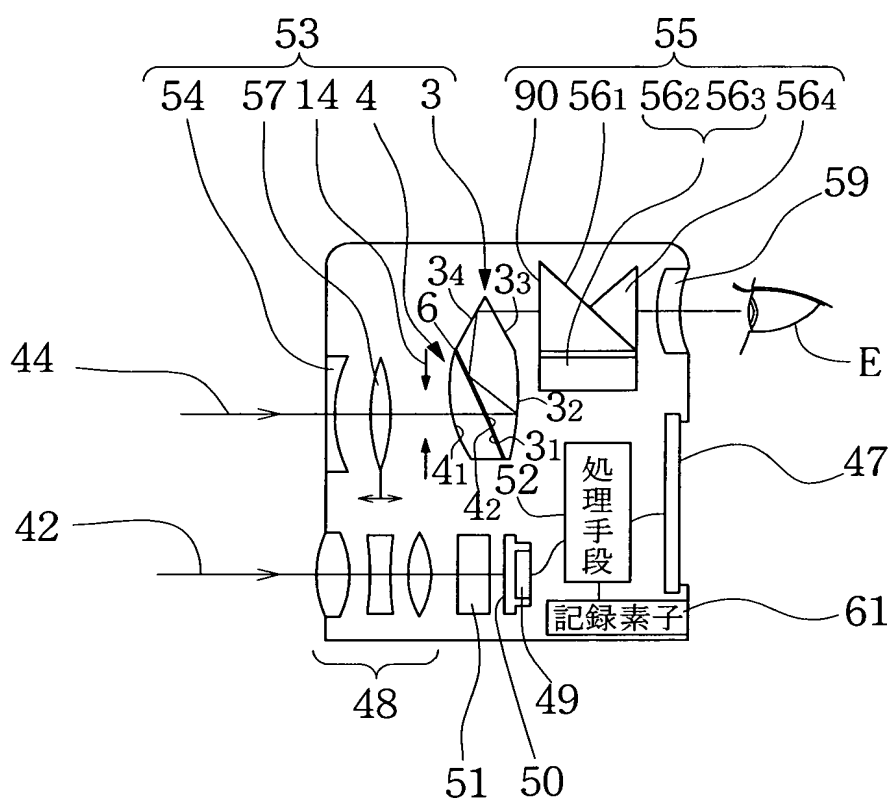
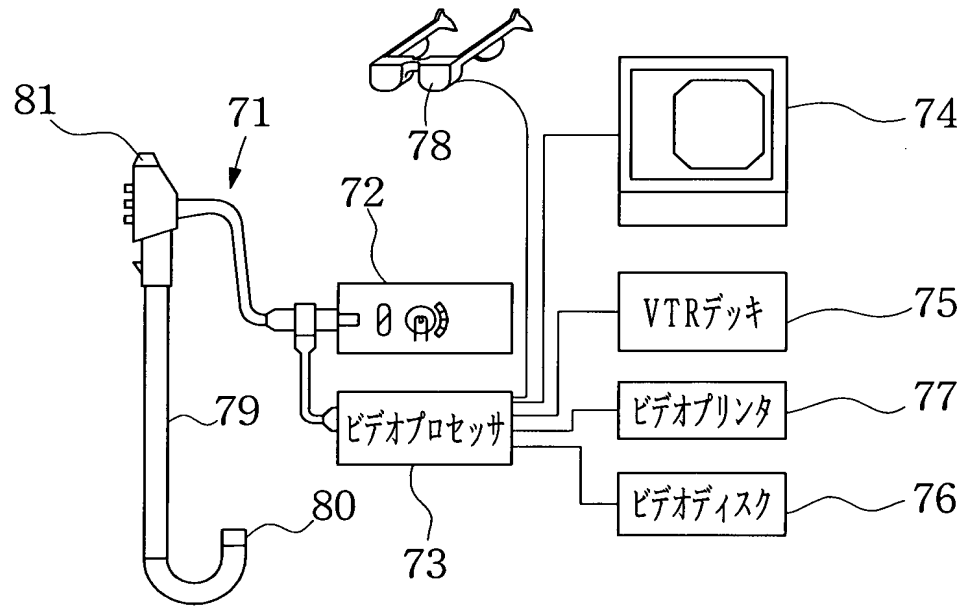




FIG.15A



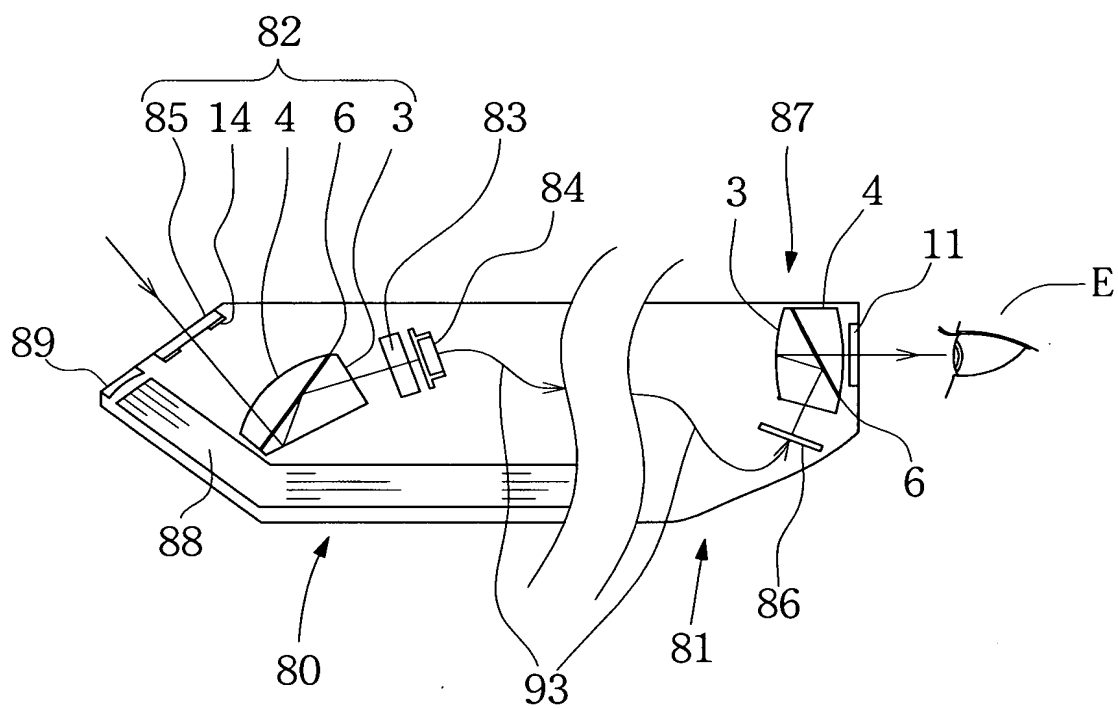
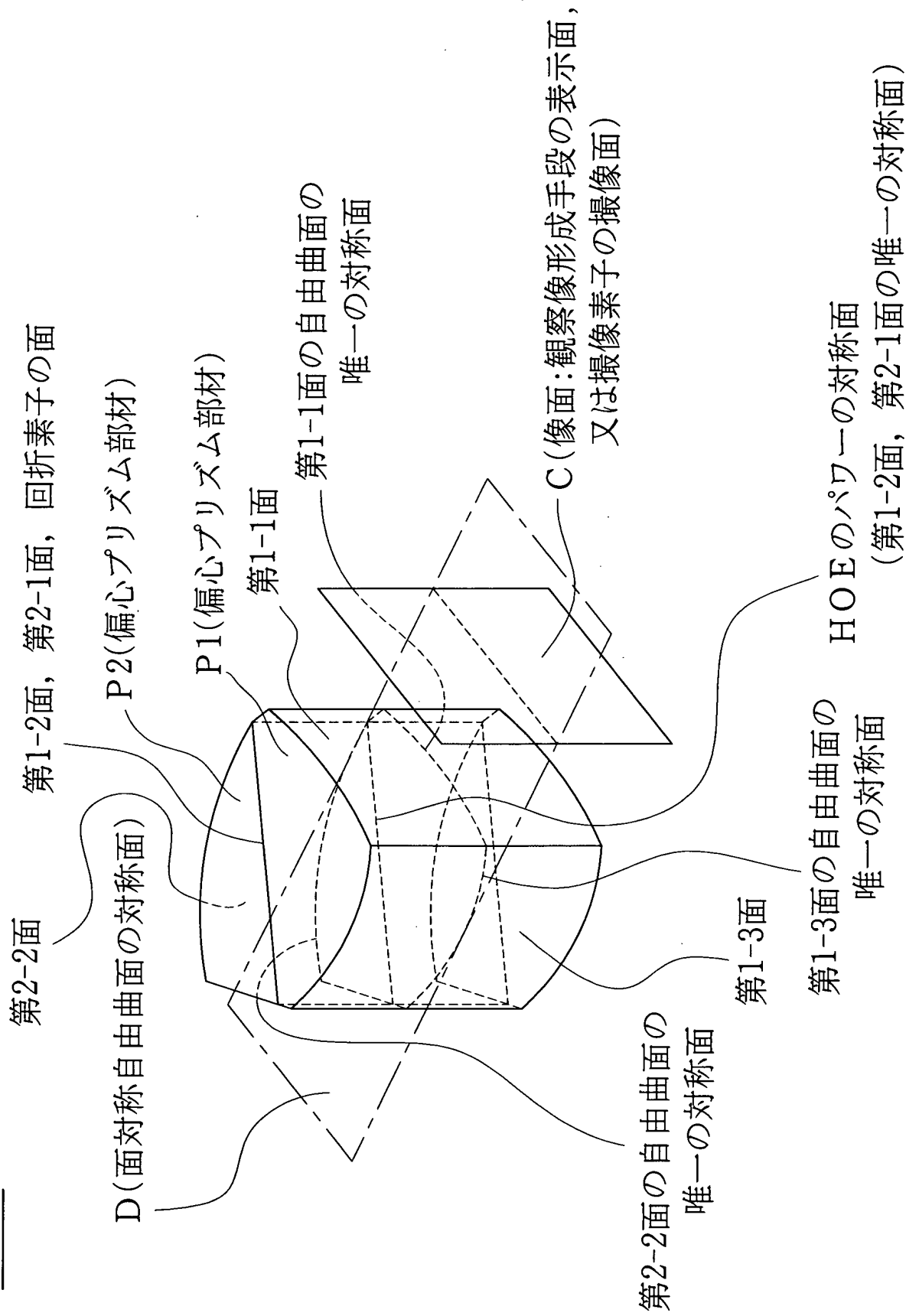


FIG.16



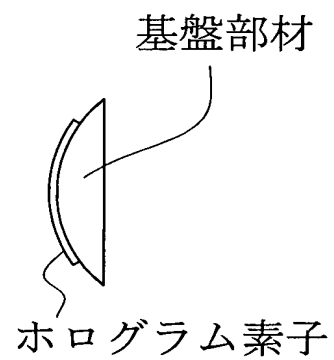
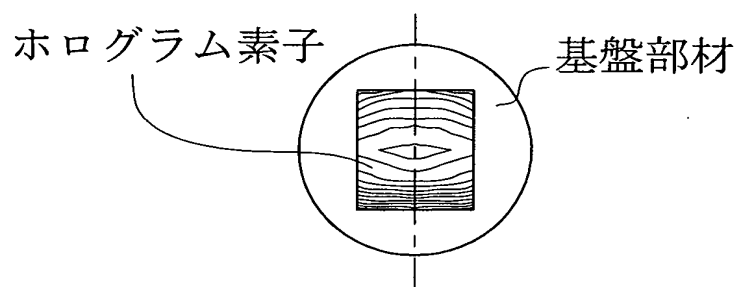


FIG.18

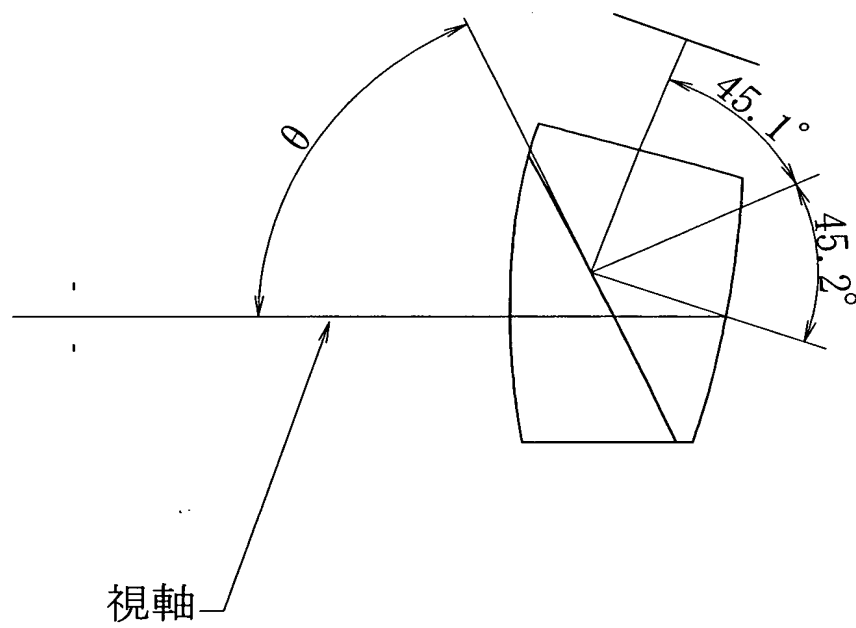


FIG.19

(例) 左図で媒質が空気 $n=1$ の場合

$$\Phi_0^{2P} = -r_2 - r_1 < 0$$

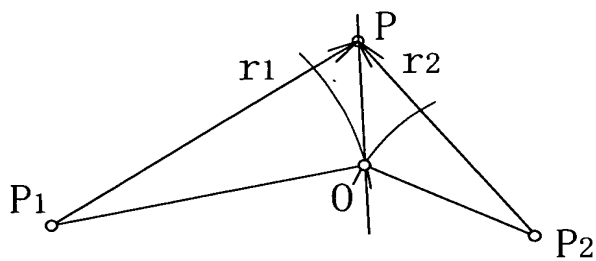
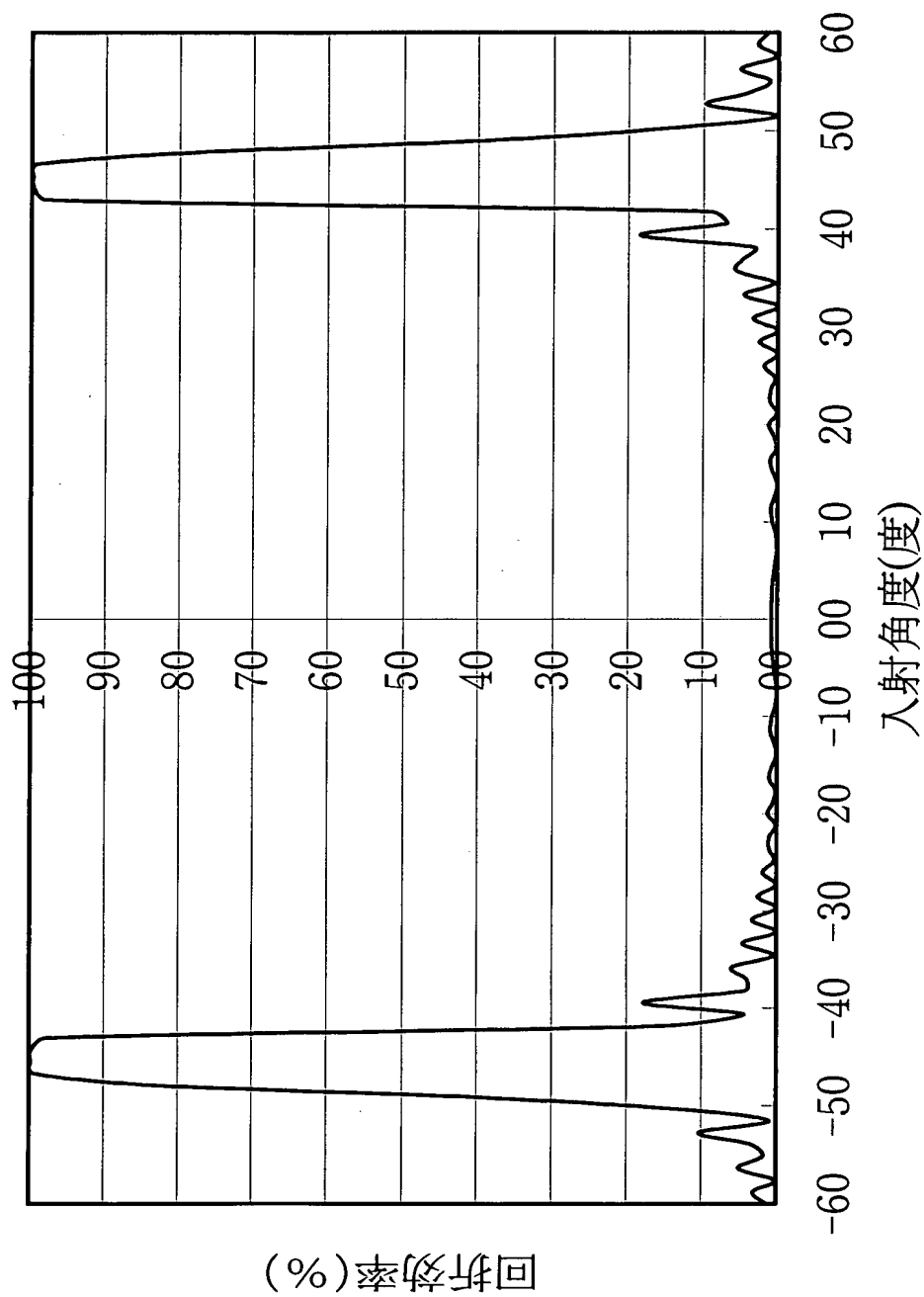
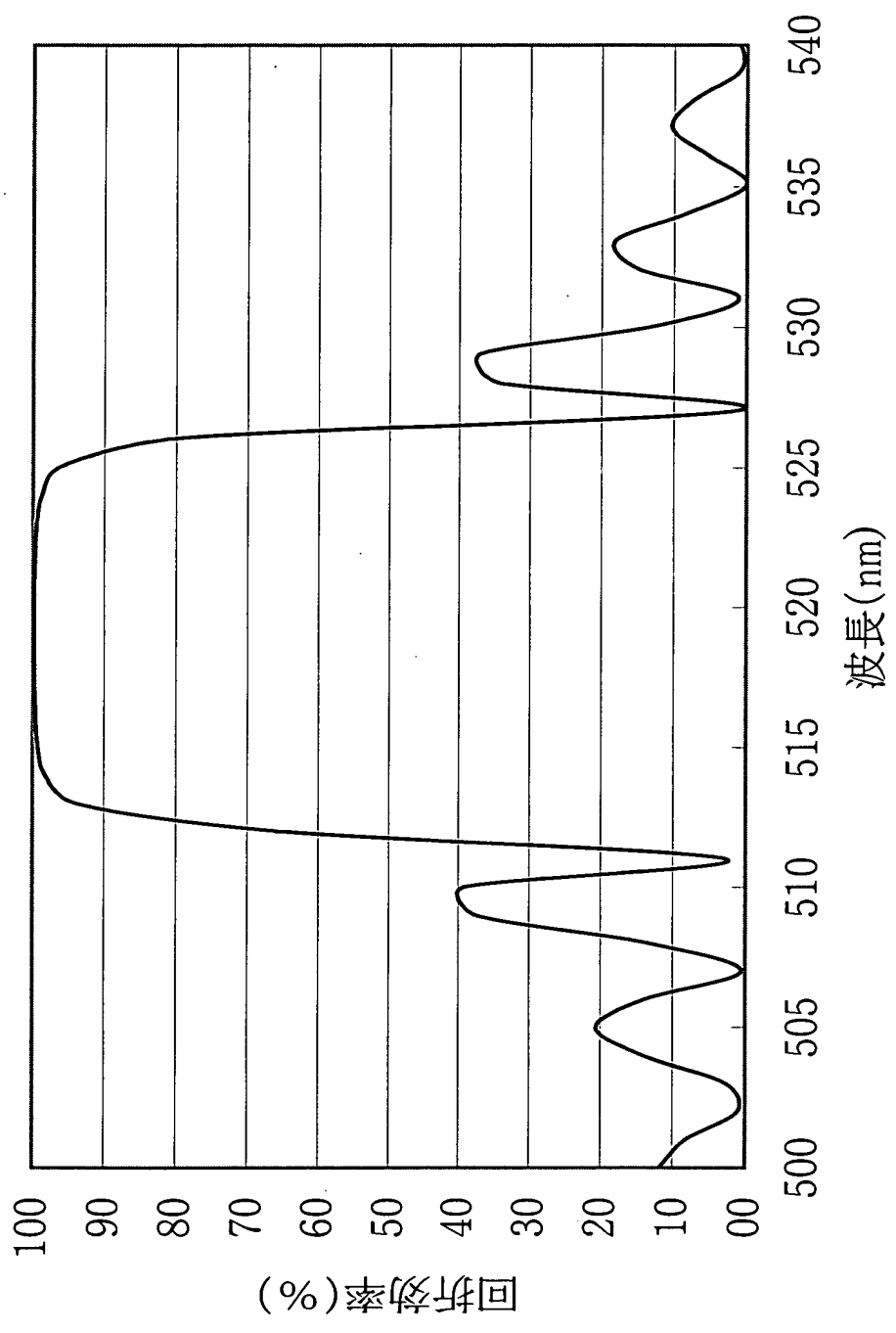


FIG.20



入射角度 vs 回折効率 (at 波長=520nm)

FIG. 21



波長 vs 回折効率 (at 入射角度=45.1deg)